

平成 21 年度
修士論文

透水性型枠工法における
脱水メカニズムの解明と性能改善手法の検討



指導教員 畑中重光 教授
三島直生 准教授

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 建築学専攻
西川 稔

透水性型枠工法における脱水メカニズムの解明と性能改善手法の検討

目次

第1章 序論

1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	3

第2章 既往の研究

2.1 概説	4
2.2 透水性型枠がコンクリートの品質に及ぼす影響	5
2.2.1 透水性型枠の性質	5
2.2.2 コンクリートの品質に及ぼす影響	5
(1) 排水量	5
(2) 水セメント比	7
(3) 圧縮強度分布	7
(4) 反発度およびアバタと空隙	9
(5) 細孔量	11
(6) 透気係数	12
(7) その他の品質改善効果	14
2.2.3 透水性型枠工法による養生効果の改善	17
2.2.4 透水性型枠工法を用いたコンクリート上層部の性能改善	18
2.3 品質改善メカニズム	20
2.4 まとめ	22

第3章 透水シートの表面張力に着目した上層部の品質改善手法の検討

3.1 概説	23
3.2 透水シートの排水メカニズム	24
3.3 透水シートに働く表面張力の力学特性（実験Ⅰ）	25
3.3.1 実験概要	25
3.3.2 実験の要因水準	25
3.3.3 実験方法および測定項目	26

3.3.4	実験結果および考察	27
3.3.5	実験Ⅰまとめ	28
3.4	小型試験体による予備実験（実験Ⅱ）	29
3.4.1	実験概要	29
3.4.2	実験の要因水準および調合表	29
3.4.3	実験方法および測定項目	30
3.4.4	実験結果および考察	31
3.4.5	実験Ⅱまとめ	35
3.5	表面張力低減手法を採用した大型供試体による品質改善効果の検証（実験Ⅲ）	36
3.5.1	実験概要	36
3.5.2	実験の要因水準および調合表	36
3.5.3	実験方法および測定項目	37
3.5.4	実験結果および考察	41
3.6	まとめ	47

第4章 透水シートの保水性能およびコンクリート中の側圧分布に着目した品質改善手法の検討

4.1	概説	48
4.2	シート貼付時および側圧分布低減時の品質改善効果（実験Ⅳ）	49
4.2.1	実験概要	49
4.2.2	実験の要因水準および調合表	49
4.2.3	実験方法および測定項目	50
4.2.4	実験結果および考察	56
4.2.5	実験Ⅳまとめ	66
4.3	水中養生時のポテンシャル確認実験（実験Ⅴ）	67
4.3.1	実験概要	67
4.3.2	実験の要因水準および調合表	67
4.3.3	実験方法および測定項目	68
4.3.4	実験結果および考察	68
4.4	まとめ	72

第5章 結論および今後の課題

5.1 結論	73
5.2 今後の課題および展望	74
参考文献	75
謝辞	79
付録	80
・ 修士論文梗概	
・ 修士論文発表パワーポイント	
・ 学外投稿論文	

第1章 序論

1.1 本研究の背景

1.2 本研究の目的

第1章 序論

1.1 本研究の背景

近年の日本において、社会保障費の増大や世界規模の経済の減速傾向に伴い、社会資本に対する投資の減退といった社会問題が起こっている。このような社会情勢を背景に、建築・土木構造物の主要な構造材料として広く使用されている鉄筋コンクリート（以下、RC）に関しては、高耐久なRC構造物にして長期間使用できるようにすることが要求されている。

このような社会的要求が高まる中で、通常のコンクリートでは、十分なワーカビリティを得るという施工上の要求からある一定の単位水量が必要になり、水セメント比（W/C）にしておおそ 50～60%のコンクリートが使用される。しかし、過去の研究からも明らかのように、セメントの水和反応に必要な水量は条件によって異なるものの、最大で W/C にして 30%弱であり、現在の普通コンクリートには、多くの余剰水が含まれていることになる。この余剰水は、コンクリートの表面・内部強度の低下、乾燥収縮の増大、耐久性の低下など、コンクリートの性能を低下させる要因の一つとなっている。特に近年では、高度な耐震性能要求に伴う過密配筋によって流動性の良いコンクリートが要求されており、その結果、単位水量の多いコンクリートが使用されるようになり、コンクリートの品質低下が懸念されている。

これらの問題を解決するために考案された工法として、透水性型枠工法、真空脱水工法、加圧脱水工法、遠心脱水工法[1]（図 1-1）が提案・実用化されている。これらの工法はいずれもコンクリート打設後に余剰水を抜き取り、表層部の品質を改善させる工法である。

これらの工法のうち、鉛直部材の品質改善に一般的に用いられているのは透水性型枠工法である。透水性型枠工法は、コンクリートの自重により間隙水圧が上昇することを利用した工法であり、型枠と打設されるコンクリートの間に透水性を有したシート（以下、透水性シート）を取り付け、透水シートからコンクリート内部の余剰水を自然排出させる工法である。

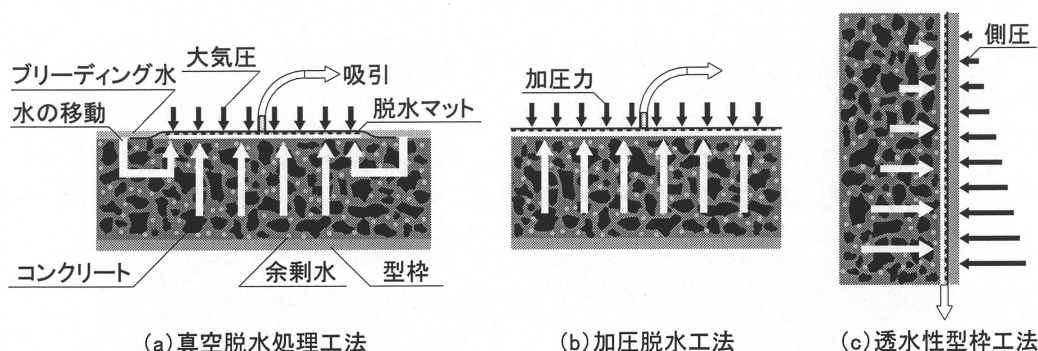


図 1-1 透水・脱水工法の概要

その歴史を追っていくと、1951年に米国から輸入された吸水性型砕裏張材「hydron」がダム施工時に試用[2]されたものが初めてであると考えられる。その後1980年代から注目され始め、研究も進み、これまでに各機関から多種多様な透水性型砕が開発されてきた。

近年、コンクリート打放しの建築物も多く見られるようになった。また、JASS5によるコンクリートの仕上がりに対する要求性能も多い[3]。従ってコンクリート表面の耐久性および美観は重要になってきており、経済的・性能的に優れた表層を持つコンクリートの需要はますます多くなっている。

1.2 本研究の目的

透水性型枠工法を使用することにより、コンクリート内部の余剰水が排出され、コンクリート表層部の品質が改善されることが明らかになっている。また、透水性型枠工法による品質改善効果にはコンクリートから型枠にかかる側圧が大きく関わっているとされており、コンクリートの側圧の低い型枠上部においては、品質改善効果が低いとされている。すなわち、透水性型枠を使用したコンクリートは、透水性型枠を使用しないコンクリートと比べると、確かに耐久性は向上させることができる。しかし、コンクリートの劣化は弱部から進行していくと予想されるため、コンクリートの中層から下層にかけて大きな品質改善効果が得られるにも関わらず、上層部の品質改善効果が小さくなってしまっている（[4], [5]）ため、透水性型枠工法の品質改善効果が十分に発揮されているとは言い難い。

（図1-2）そこで、本研究では過去の研究において[6]–[11]，部材上部においてより品質改善効果をもとめるための数種類の改善方法を試みた。その結果，型枠上部表層の改善には型枠上部のみに真空脱水処理を施す方法が最も有効であるという結論を得た。

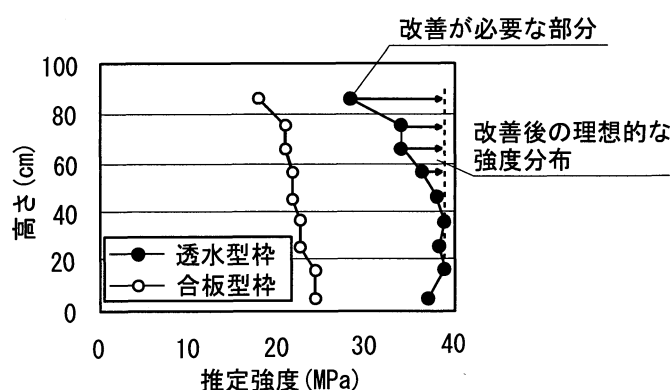


図-1.2 透水性型枠を利用したコンクリートの強度改善のイメージ図（[4], [5]）

しかし，真空脱水処理を行う場合，空隙量の増加による耐久性の低下や，型枠や真空脱水装置が煩雑になり実用性に乏しいという課題が残った。

そこで本研究では，透水性型枠工法においてコンクリート部材上層部の品質改善手法として，透水シートの脱水メカニズムと（透水シートに発生する表面張力とコンクリート中の間隙水圧），透水シートの養生性能に着目し，さらに安定した品質改善効果を得るための詳細な検討を行った。

第 2 章 既往の研究

2.1 概説

2.2 透水性型枠がコンクリートの品質に及ぼす影響

2.3 品質改善メカニズム

2.4 まとめ

第2章 既往の研究

2.1 概説

本章では，コンクリート打設方法および初期養生方法がコンクリートの品質に及ぼす影響と，透水性型枠工法を用いたコンクリートの品質改善効果について，既往の研究を整理する。さらに，透水性型枠を用いたコンクリート上層部の性能改善の研究についても取りまとめる。

2.2 透水性型枠工法がコンクリートの品質に及ぼす影響

2.2.1 透水性型枠の性質[13, 14]

透水性型枠工法とは、透水性材料（透水性の織布や吸水シート）を型枠の内側に取り付けることにより、コンクリート中の余剰水や気泡を型枠外に排出し、脱型後のコンクリート表面からアバタや気泡を除去する方法である。型枠に小孔を設けるもの、孔を設けず型枠の端部から排出させる構造のものなどがある。図 2-1 に、透水性型枠工法の例を示す。

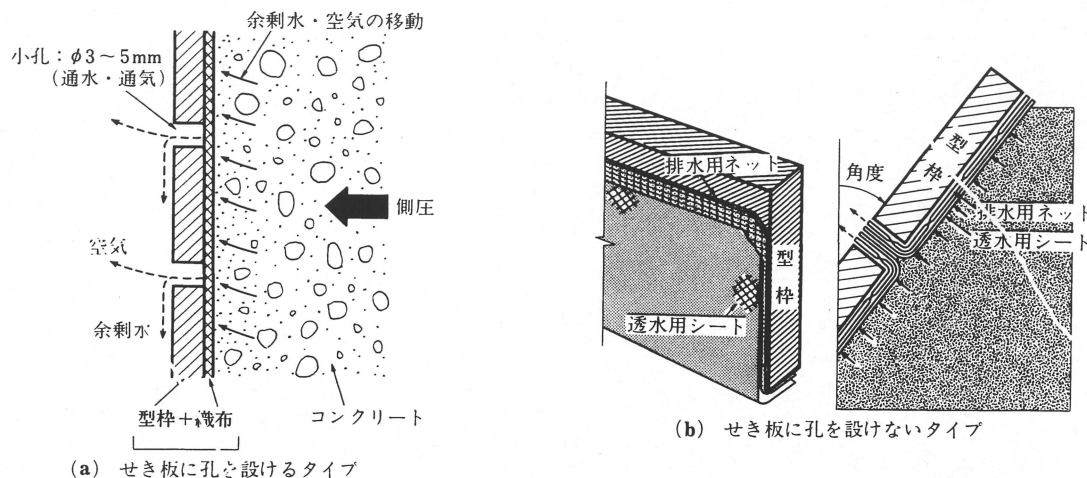


図 2-1 透水性型枠の概要[13]

2.2.2 コンクリートの品質に及ぼす影響

(1) 排水量

石神ら[15]は、透水性型枠の排水作用がブリーディング水量に影響を与えていると報告しており、永田ら[16]は、透水性型枠のブリーディング水量がシートなしに比べ極端に減少する理由として、ブリーディング水が透水シートから排出されるとしている。

小柳ら[17]は、排水量とブリーディング水量の経時変化を検討している。図 2-2 に結果を示す。それによると、透水性型枠からの排水はブリーディングよりも長時間かけて収束していくと報告している。

排水量とコンクリートの調合の関係についてのいくつかの研究[18-20]では、全て図 2-3 に示すように、調合時における水セメント比にかかわらず排水量はほぼ同じであると報告している。また、芳賀ら[21]は、スランプの違いにおける排水量を検討している。図 2-4 にその結果を示す。同図によれば、スランプが大きいコンクリートほど排水量が多いとしている。透水性型枠の高さ位置と排水量の関係については、いずれの文献[17, 22-24]も図 2-5 に示すように、コンクリート上部よりも下部のほうが、側圧が大きいことにより、排水量は多いと報告している。

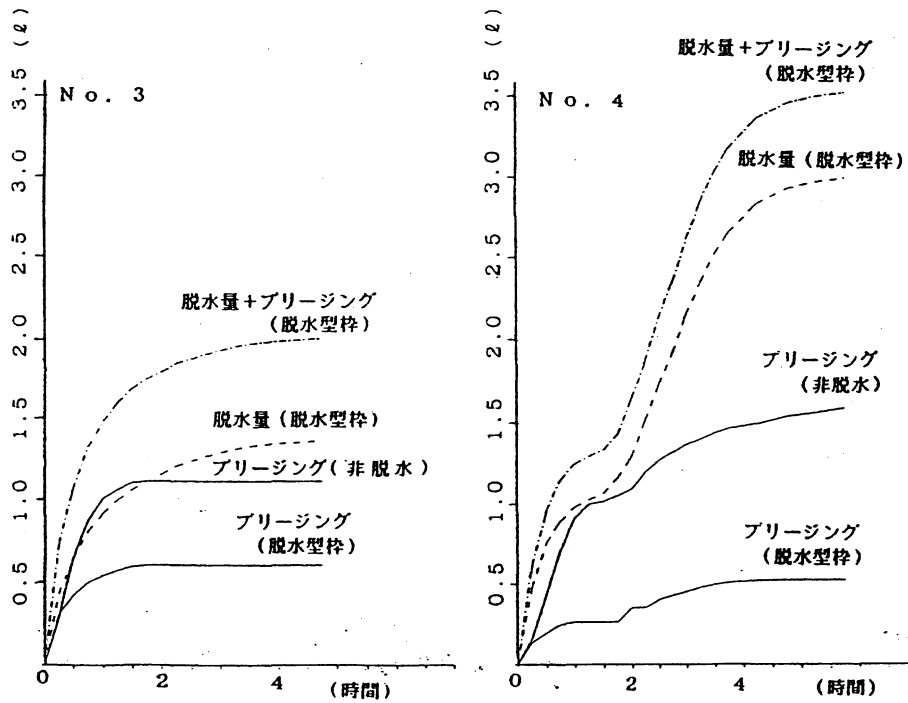


図 2-2 ブリーディング水量と排水量の関係[17]

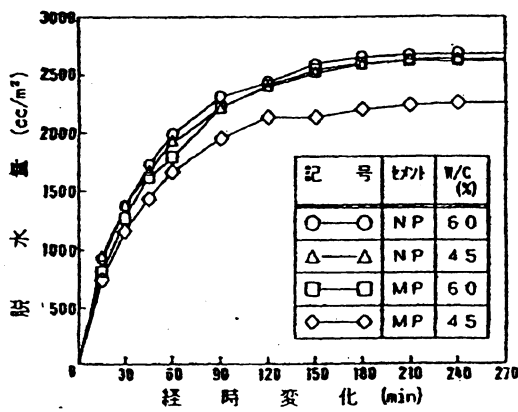


図 2-3 水セメント比と排水量の関係[19]

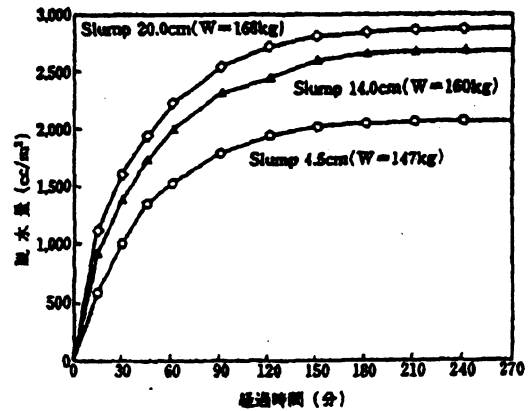


図 2-4 スランプと排水量の関係[21]

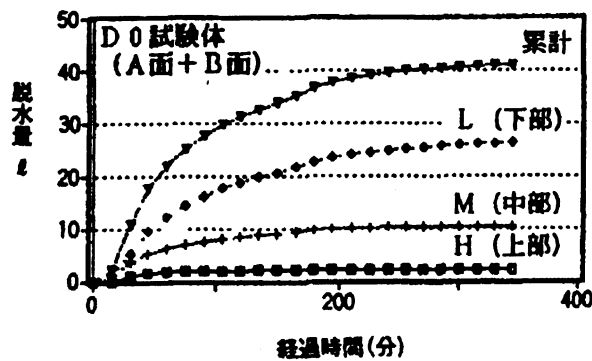


図 2-5 コンクリートの高さ位置における排水量[23]

(2) 水セメント比

透水性型枠を使用することによって型枠付近の水セメント比が低減されることがいくつかの研究[25-27]で報告されている。図 2-6 に結果を示す。いずれの研究でも型枠表面から 20～50mm の深さの範囲まで水セメント比が低減していると報告している。また、型枠表面付近のセメント量を調べている研究[20, 28]もあり、それらによると、図 2-7 に示すように、型枠表面から 5mm 程度の範囲では、セメント量が増加していると報告している。

(3) 内部圧縮強度分布

透水性型枠内部のコンクリート強度を検討するために、コア試験体を用いた圧縮強度分布の測定が数多く行われている。図 2-8 に試験体高さ別の採取位置によるコア圧縮強度分布を示す。ほぼ全ての文献において、透水性型枠によって、内部圧縮強度も改善されているとされている。材齢による影響[15, 16, 22, 23, 30-32]では、反発度と異なり、材齢に関わらず透水性型枠の効果が一定して現れると報告されている。試験体高さによる影響[17, 20, 22, 30-35]では、試験体下部のほうが大きな改善効果を示すとされている。しかし、透水性型枠の影響範囲がコンクリートの表層部に限られているため、その範囲外で採取されたコア試験体では、透水性型枠の効果があまりない結果となるという報告[15, 33]もある。また、水セメント比による影響では、笠井ら[20]は、水セメント比が大きいほど透水性型枠の効果が大きいとしているのに対し、庄谷ら[26]はそれと逆の見解を示している。

竹田ら[19]によれば、透水用のシートを用いた型枠をダム堤体やドーム構造物などに適用することを目的として、傾斜面に用いた場合あるいは中庸熱ポルトランドセメントを用いた場合のコンクリートの耐久性改善の効果およびその影響範囲について検討している。表 2-1 に、実験要因および試験体概要を示す。図 2-9 に、透水性シートを用いた場合の合板型枠に対する表面強度比を示す。同図によれば、材齢 28 日における普通ポルトランド(NP)の強度増加率は 30～50%であるが、中庸熱ポルトランドセメント (MP) の W/C=60%のそれは、上部で 20%、下部で 80%であり、強度増加率の高さによる差が大きい。この強度増加の差は、コンクリートの凝結速度の違いが、型枠に作用する側圧に影響するために生じると考えられると報告している。

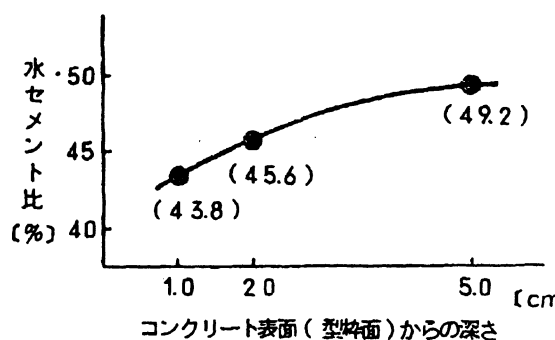


図 2-6 コンクリート表面からの深さと水セメント比の変化[25]

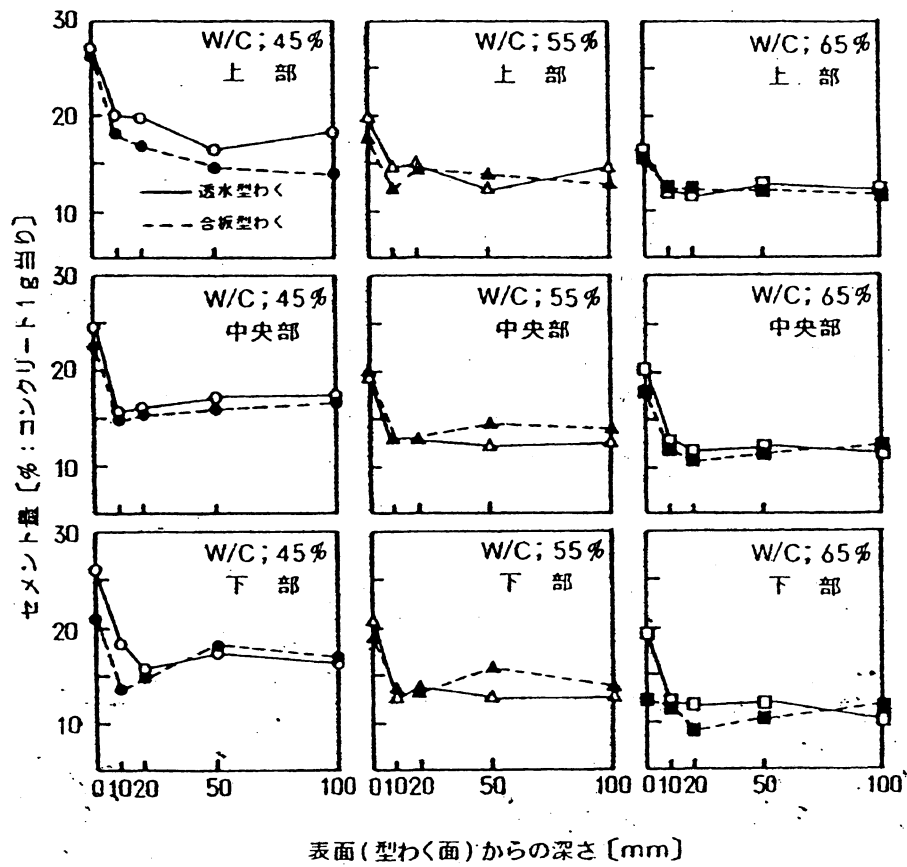


図 2-7 コンクリートの深さの違いによるセメント量[20]

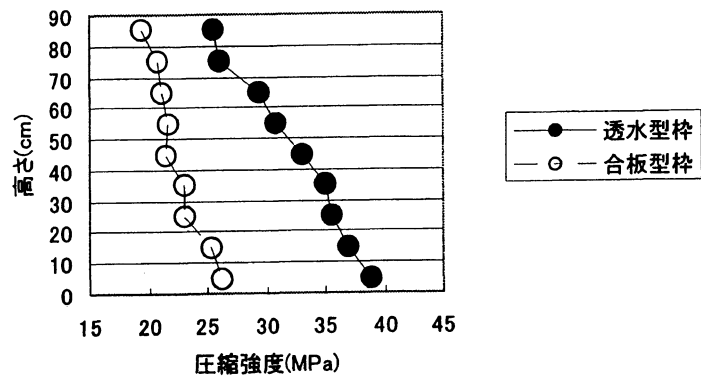
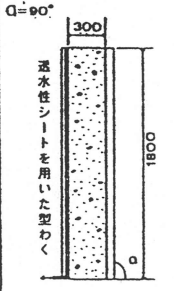
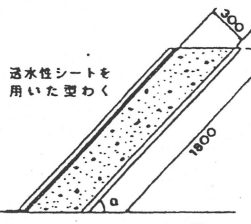
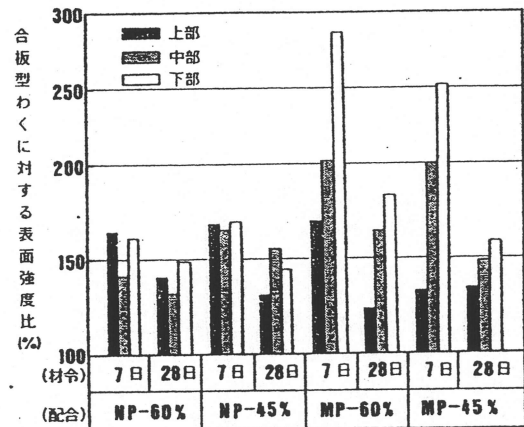


図 2-8 透水性型枠を使用したコンクリートの内部圧縮強度分布[35]

表 2-1 試験体の概要[19]

形状寸法	鉛直面型わく				傾斜面型わく		
	$\alpha = 90^\circ$				$\alpha = 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$		
							
	幅 = 600mm				幅 = 600mm		
供試体No	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
傾斜角	90°				60°	45°	30°
使用セメント	普通ポルトランドセメント		中熱ポルトランドセメント		普通ポルトランドセメント		
水セメント比	6.0	4.5	6.0	4.5	6.0		
配合	I	II	III	IV	I		

図 2-9 表面強度の増加率
(合板型枠=100) [19]

(4) 反発度およびアバタと空隙

反発度法で行われたコンクリートの表面反発度の測定結果によれば、透水性型枠を使用することによりいずれも強度が改善されている。その改善効果はいずれの文献においても、特に若材齢[15, 16, 18, 23, 25, 31, 33, 35, 36]および下層部[17, 19-23, 25, 33-38]のコンクリートにおいて顕著であると報告されている。図 2-10 に材齢および試験体高さの異なるコンクリートの反発度を示す。また、芳賀ら[21]は、スランプの異なる試験体では、反発度に差異はないと報告している。

その他の手法による表面強度の測定例として、芳賀ら[19, 21]は、超音波伝播速度による測定を行っている。図 2-11 に測定結果を示す。同図によれば、コンクリート表面部から深さ 5cm にかけて、透水性型枠による緻密化、高強度化の影響があったと報告している。庄谷ら[26]は、Pull-off 法による接着引張強度の測定を行った。その結果、透水性型枠を使用することにより、ごく表層で強度の向上が顕著であると報告している。また、池田ら[18]は仕上げ剤付着強度を、大友ら[39]はコンクリート型枠面の表層引き剥がし強度を測定した。いずれも透水性型枠を利用することにより、強度改善が行われたと報告している。

透水性型枠の効果としては、強度および耐久性の改善以外に表面の気泡除去がある。コンクリート表面の仕上がり状態、すなわちアバタの減少は視覚的にも判断が容易であることから、以下に示すアバタ率の式を用いて多くの研究[16, 18, 19, 21, 24, 25, 31, 32, 36, 38-40]で評価する試みが行われている。これら全ての研究において、図 2-12 に示すように、透水性型枠を使用することによってアバタ率およびアバタの数は大幅に減少することが報告されている。

熊谷ら[22]は、鋼管を埋設したコンクリートを打設し、鋼管直下の空隙量を測定した。その結果、透水性型枠を使用したコンクリートでは鋼管直下の空隙率が少なくなると報告している。

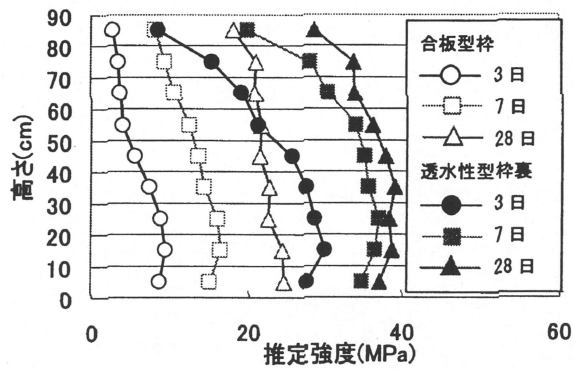


図 2-10 コンクリート高さ位置における表面反発度[29]

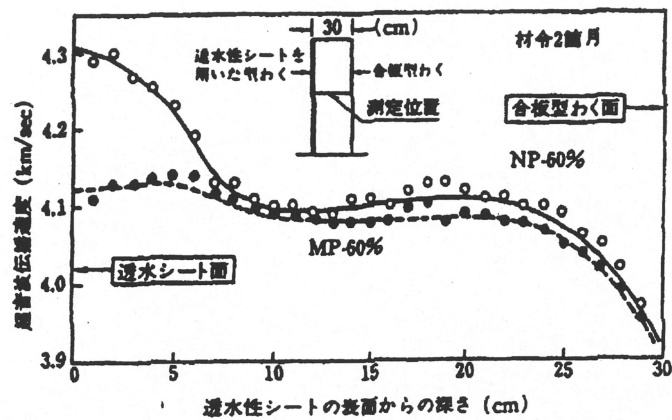


図 2-11 超音波伝播速度の測定結果[21]

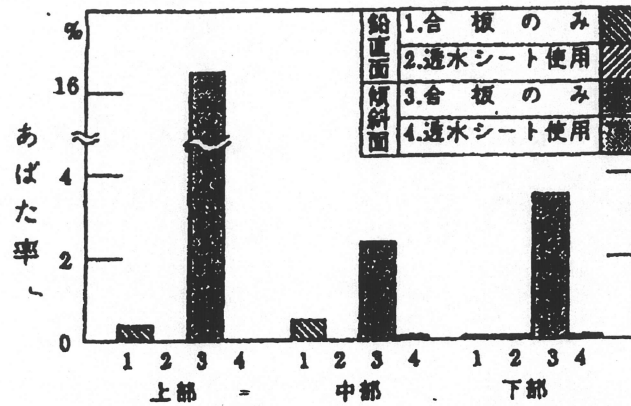


図 2-12 コンクリート高さ位置におけるアバタ率[38]

(5) 細孔量

透水性型枠を使用することにより型枠表面が緻密化することは、細孔径分布の測定結果が端的に示している。多くの文献[16, 19, 20, 23, 24, 28, 34, 40, 41]において、透水性型枠を使用したコンクリートの細孔径はコンクリート表面に近いほど減少するとしている。そして、その影響範囲は使用された透水性型枠やコンクリートの調合によって差異はあるものの、およそ 10mm の深さまで及ぶと考えられている。図 2-13 に透水性型枠と合板型枠の細孔径分布を比較したものを示す。

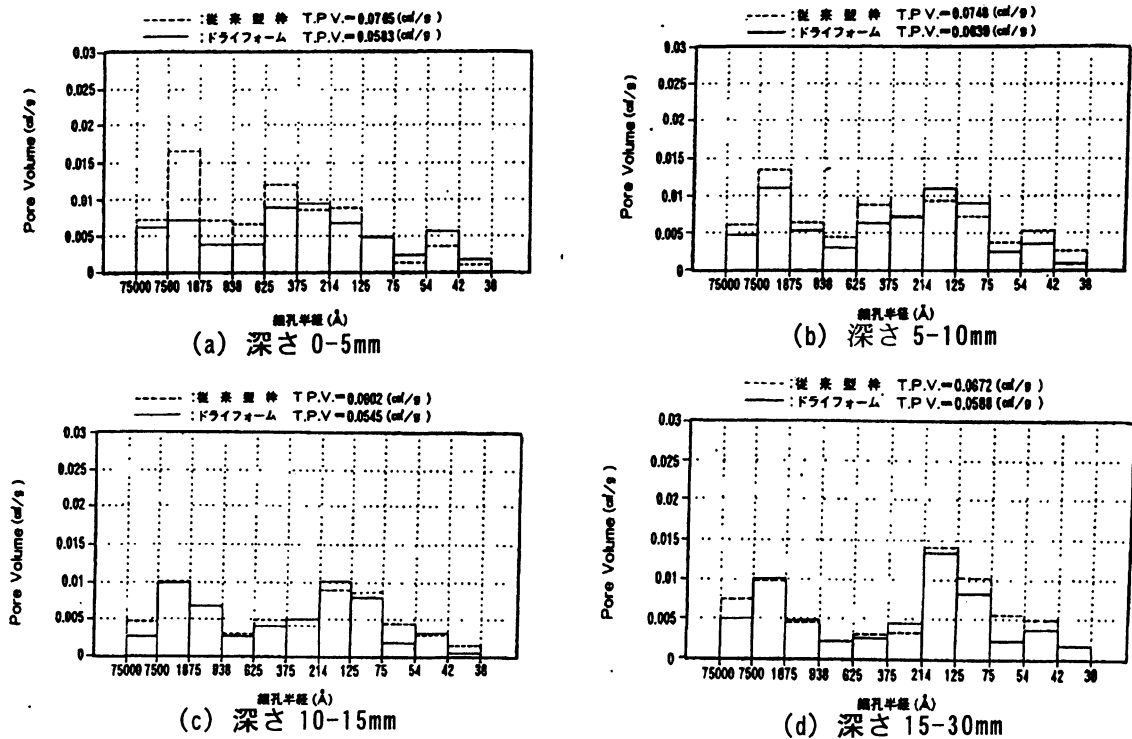


図 2-13 細孔径分布比較[28]

高見ら[34]は、施工方法を検討することにより、密実で耐久性のあるコンクリートを実現するために、透水性型枠・型枠振動締固め、および棒状フィルターによる真空吸引脱水工法を適用した場合の耐久性に与える影響を明らかにしている。実験要因は、スランプ (8 および 18cm)、使用型枠 (透水型枠および合板型枠)、内部振動の有無、型枠振動・型枠再振動の有無、棒状フィルターによる真空吸引の有無である。図 2-14 に、コンクリートの調合表を示す。表 2-2 に、各試験体の打設時の型枠面からの 4 段階の深さによる試料の総細孔量を示す。同図によれば、透水性型枠に型枠振動および型枠再振動を併用すると、コンクリート中の総細孔量の減少する範囲は、スランプ 8cm のコンクリート (No. 5) では、表面から 50~60mm まで達するのに対して、スランプ 18cm の単位水量の多いコンクリート (No. 10) では、表面から 10mm 程度であると報告している。

表 2-2 コンクリートの調合表[34]

Maximum size of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Air content (%)	Water cement ratio W/C (%)	Sand percentage S/a (%)	Unit weight (Kg/m ³)				
	Target(Actual)				Water	Cement	Sand	Gravel	Chemical admixture
20	8 (7)	4.0(3.8)	55	44.2	167	304	796	1056	0.760
20	18(17)	4.0(4.1)	55	45.4	191	347	775	978	0.868

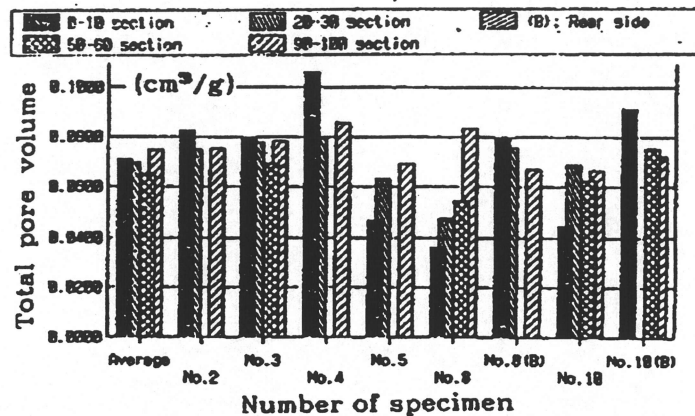
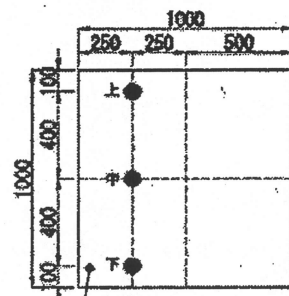
Unit weight of chloride in fresh concrete was 0.056 Kg/m³

図 2-14 試験体の打設時の型枠面からの 4 段階の深さによる試料の総細孔量[34]

(6) 透気係数

笠井ら[20]は、透水型枠を用いた幅 2400 mm×高さ 1800 mm×厚さ 300 mmの試験体で、透気性試験を行っている。各型枠に 3 水準の水セメント比を用いており、表 2-3 にその概要を示す。透気性試験の方法は、試験体に直径 10 mm、深さ 30 mmの 5 つの試験穴を設け真空ポンプで試験穴内部の空気を 60 mm Hg まで抜き取り、U 字型真空計の真空度が 20 mm Hg 低下する時間を計測する。次に同一試験穴の深さを 80 mmにし、上記手順と同様に真空度が 20 mm Hg 低下する時間を計測する。その結果を図 2-15 示す。透気速度は透水型枠試験体の方が合板型枠試験体に比べ大幅に遅くなっており、透水型枠を使用することにより特に表層部の品質改善に効果があると報告している。水セメント比による違いでは、W/C=65%になると速度が速くなり、W/C=55%~65%の範囲にコンクリートの耐久品質上の変化域があると考えられる。また、高さによる違いでは、W/C=65%の透水型枠試験体が顕著にその影響を示し、上部ほど速度が速くなる傾向を示すとまとめている。

竹中ら[48]は、コンクリートの品質や耐久性に及ぼす影響を確認するため、透気係数の測定を行っている。試験体は、図 2-16 の型枠に表 2-4 および表 2-5 に示す透水シートを敷設したものをを用いている。また、透気係数は、トレント法を用いて行っている。図 2-17 に透気試験位置を、図 2-18 に各試験体の透気係数を示す。透水シートを敷設した面は、敷設していない面に比べて透気係数が小さくなる傾向があると報告している。特に斜面試験体



シート敷設面

図 2-17 透気試験位置[48]

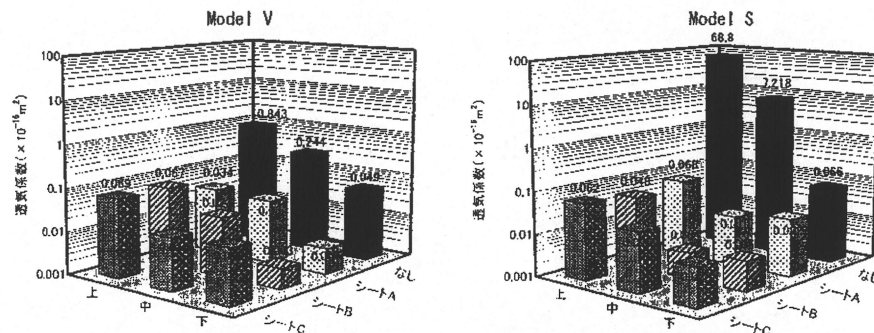


図 2-18 透気係数[48]

(7) その他の品質改善効果

透水性型枠によって、緻密化された表層コンクリートの性質を探るために、いくつかの文献では透水試験[18, 19, 25, 37]および吸水試験[18, 24, 31, 32, 42]を行っている。表 2-6 に透水試験の結果、図 2-19 に吸水率の結果を示す。これらの結果からも、透水性型枠を使用したコンクリートの表面は水密性に優れていると報告されている。

いくつかの文献[16, 18, 23, 27, 28, 30, 39, 40]では、凍結融解試験が行われている。図 2-20 に凍結融解試験の結果の例を示す。これより、透水性型枠を使用したコンクリート表面は密実で剥離が生じにくい組織が出来上がっており、凍害のある環境条件下でも高い耐久性を示すと報告している。

いくつかの文献[16, 18-21, 24-26, 30, 31, 33, 38, 40, 41, 43]では、促進中性化試験が行われている。また、同様に塩分浸透試験が行われた文献[18, 19, 21, 23, 28, 30, 38-40, 43, 44]もいくつか存在した。図 2-21 に両試験の結果の例を併せて示す。このように、透水性型枠を使用したコンクリートは CO_2 や Cl^- の浸透を抑制し、普通型枠より長期にわたって構造物の耐久性を維持できる。また、同図によれば、透水性型枠の有無によらず、下層部ほど中性化および塩分浸透に対する抵抗性が高いと報告されている。

池田ら[18]は、マッシュな壁体コンクリートを想定した実大模擬部材を用いて各種試験を行い、その一つとして乾燥収縮量を測定した。測定結果を図 2-22 に示す。同図によれば、

透水性型枠を使用することにより、若干の改善効果があることを示している。

小柳ら[17]は、ASTMC779 ドーリー試験機によるすり磨き磨耗試験を行った。試験結果を図 2-23 に示す。同図によれば、透水性型枠を使用したコンクリートの磨耗抵抗性は向上するが、その効果は中下層部のみで、上層部では効果があまりなかったと報告している。

片山ら[43]は、透水性型枠を使用したコンクリートに微細ひび割れが発生する場合について、養生方法別にその原因を検討している。それによれば、透水性型枠を使用したコンクリートは余剰水の排出とセメント粒子の移動に伴い、表面では仕上げ材料のモルタルのようになると考えられる。また、ひび割れの原因は乾燥収縮によるものであるとすると、モルタル状態の表層コンクリートは単位水量が普通コンクリートに比べて大きいいため、微細ひび割れが生じると考えられると報告している。養生方法別の微細ひび割れの発生状況に関しては、無養生と送風養生において、微細ひび割れが比較的多く発生したと報告している。

表 2-6 透水試験結果[21]

NO	セメントの種類	量(w-c)	単位水量 (kg/m³)	透 水 係 数 (×10⁻⁴ cm²/sec)	
				透水シート置わく	合板置わく
①	NP	60	167	172	485
②			160	74	432
③			166	125	528
④	MP	45	166	8.3	135
⑤		60	150	141	1000以上
⑥		45	150	107	406以上

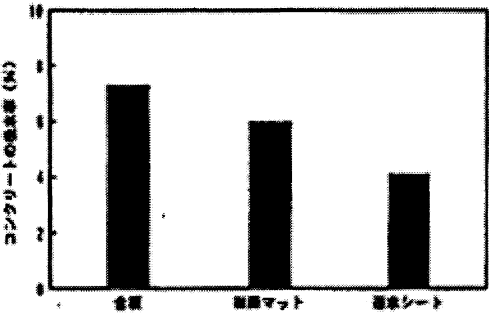


図 2-19 コンクリートの吸水率[24]

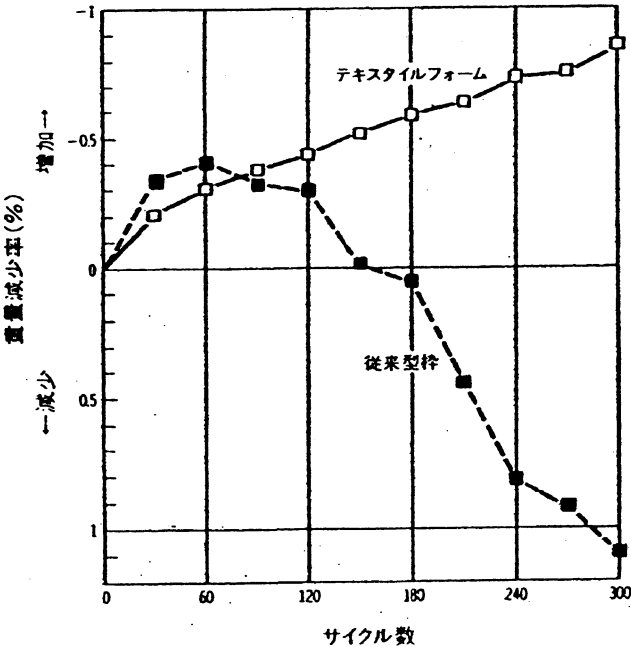


図 2-20 凍結融解試験による重量変化[30]

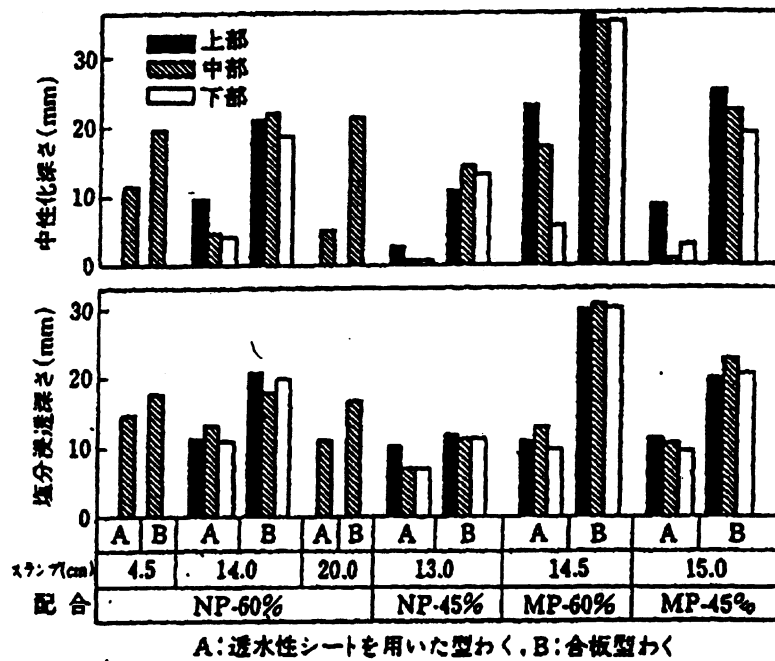


図 2-21 中性化促進試験・海水浸漬試験結果[21]

乾燥収縮 (試験期間 180日)				
試験体	型 枠	平均値 ($\times 10^{-4}$)		繊維/合板 改善率%
A (一般壁)	合 板	9.3		0.9
	テキスタイル フォーム	8.6		
B (斜め壁)	合 板	13.3		0.9
	テキスタイル フォーム	11.9		

図 2-22 乾燥収縮試験結果[18]

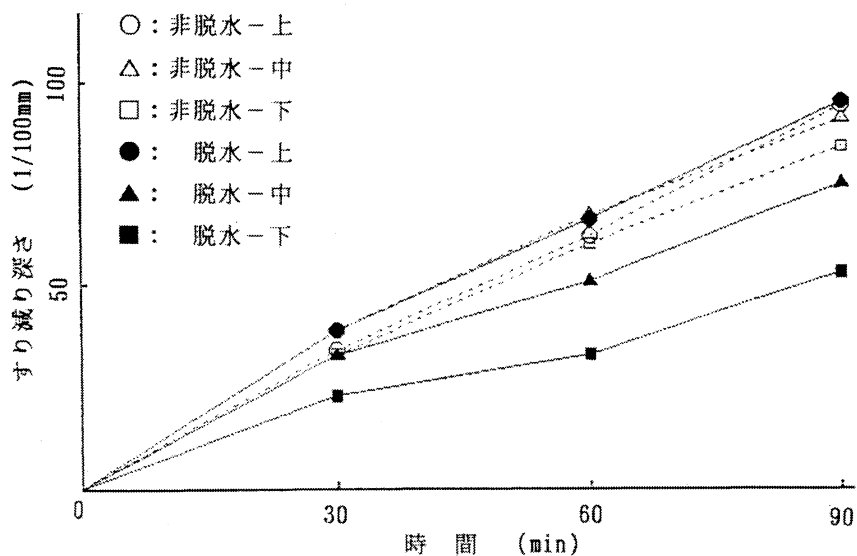


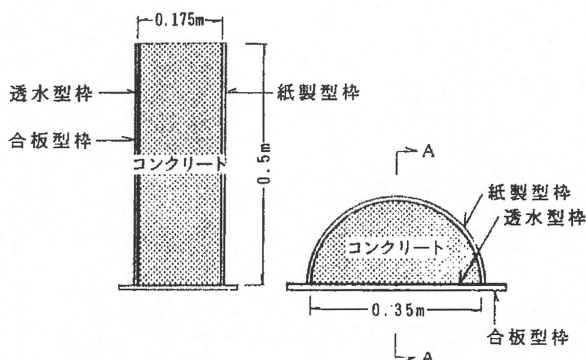
図 2-23 すり磨き摩耗試験結果[17]

2.2.3 透水性型枠工法による養生効果の改善

野々目ら[51]は、透水型枠と合板型枠を用いて打設したコンクリート試験体 14 体の表面付近の相対湿度、水分量を毎日測定し、シートの有無、散水養生の有無等の比較により透水型枠シートによる湿潤養生を確認している。試験体は図 2-24 に示すような形状とし、表 2-7 に示す使用型枠、脱型材齢、シート剥離材齢および散水養生条件の違いによる実験ケースで、透水シートによる湿潤養生効果を検討している。なお、散水は間欠散水と常時散水の 2 方法で行い、間欠散水は試験対象面に 1 試験体当たり 300ml を毎日ほぼ定時に行っている。常時散水は試験体対象面にほぼ定量 (1ℓ/hour) を滴下させている。

図 2-25 に実験結果の一例として、実験ケース②、⑤、⑥、⑨、⑫、⑬の相対湿度測定結果を示す。また、実験の結果を以下のように報告している。

- 1) 透水シートをコンクリート表面に残すことによる湿潤養生効果は、試験体による室内実験結果によれば、常時散水養生とほぼ同程度であることが確かめられた。
- 2) シート剥離後はいずれのコンクリート表面においても、湿度の急激な低下がみられ、剥離後 1 日で無養生の場合と同じになる。
- 3) 透水シートによる散水の保留効果は実験では認められなかった。
- 4) 間欠散水の養生効果については、透水型枠を用いた場合および合板型枠を用いた場合とも、1 日 1 回、300ml 程度の間欠散水では持続的な湿潤養生効果は認められなかった。
- 5) しかし、重量測定の結果からは散水養生を行えば乾燥による重量減少が緩和され、他の試験方法によって散水の養生効果を評価する必要があると考えられる。
- 6) 実験では、表面強度において使用型枠、養生の有無による差が現れておらず、試験体の体積の小ささや、データが少ないことが起因していると考えられる。



A-A断面図 上面図

図 2-24 試験体形状[51]

表 2-7 各試験体の養生条件[51]

No.	型枠種類	脱型材令 (日)	シート剥離材令 (日)	散水の有無	
				剥離前	剥離後
1	透水型枠	7	7	—	○
2				—	×
3			14	○	○
4				○	×
5				×	×
6				×	×
7			21	○	×
8			28	○	常時散水
9				×	×
10				×	×
11	合板型枠	28	28	—	×
12		7	—	○	○
13				×	常時散水
14				×	×

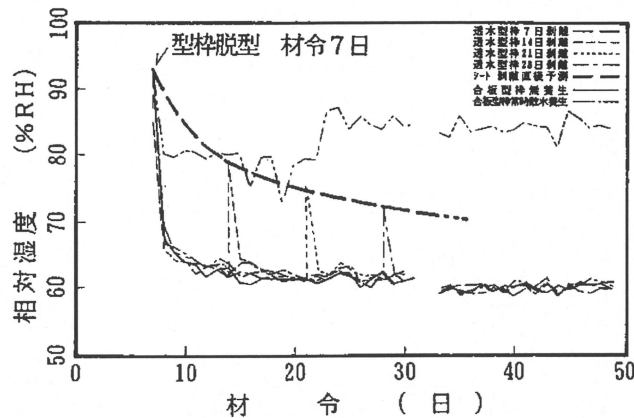


図 2-25 相対湿度測定結果[51]

2.2.4 透水性型枠工法を用いたコンクリート上層部の性能改善

三島ら[8]は、透水型枠を使用したコンクリートの上層部の性能改善手法として、透水型枠上部にモルタルピース、加圧脱水、再振動締固め、真空脱水処理を試みている。試験体は図 2-26 に示す形状であり、透水シートを 2 面に貼付している。なお、実験要因を表 2-8 に示し、図 2-27 に各種改善手法の概要を示す。表面反発度、圧縮強度、引っかかり強さの性能評価を行った結果、表 2-9 に示すように特に真空脱水処理が最も有効であると報告している。しかし、実施工における利便性を考慮すれば、表面振動機による再振動締固めも有効であるとしている。

古市ら[11]は、透水型枠工法においてコンクリート上層部の品質改善手法として真空脱水処理を採用し、さらに安定した品質改善効果を得るために、図 2-28 に示す透水型枠に真空脱水処理を併用したものと施工性を考慮した改良型枠を併用したものを含め数種類の方法を採用して、小型試験体（図 2-29）を用いて実験を行っている。その結果、鉛直部材上部の品質改善に対して、真空脱水処理は有効であるが、処理により空隙量が増加する場合があることが明らかになったため、最適な処理方法に関してさらに検討が必要であると報告している。

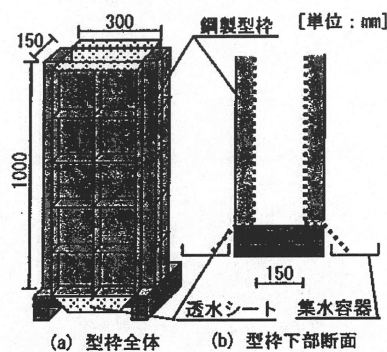


図 2-26 透水型枠の概要[8]

表 2-8 実験要因[8]

試験体名	透水性 シートの 有無	処理開始時期	測定項目
シートなし	無	—	・ブリーディング 水量
透水シート	有	ブリーディング ほぼ終了時(本 実験では打設後 40分)	・排水量
モルタルピース			・反発硬度
加圧脱水			・圧縮強度
再振動			・引っかかり強さ
真空脱水			

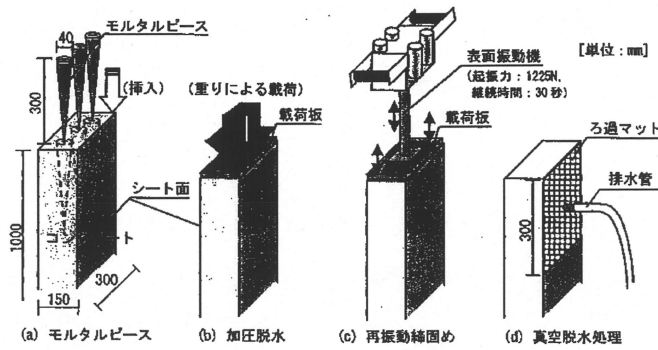


図 2-27 型枠上部における各種改善手法の概要[8]

表 2-9 各処理が及ぼす改善効果[8]

処理方法	モルタル ピース	加圧 脱水	再振 動	真空 脱水
表面反発				
硬度				
圧縮強度				
引っかかり 強さ				

[注] ◎：極めて改善効果が高い

○：改善効果が高い

△：改善効果があまり無い

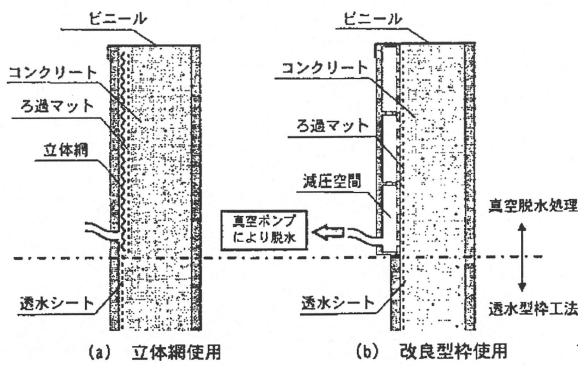


図 2-28 真空脱水型枠の概要[11]

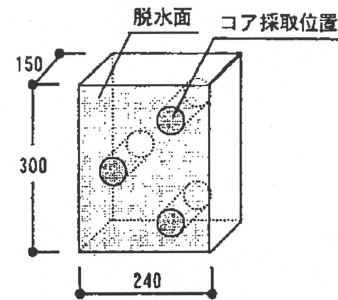


図 2-29 試験体概要[11]

2.3 品質改善メカニズム

伊藤ら[37]は、透水性型枠工法について、コンクリートの打設後にコンクリート内部の水がどのように移動し排水されるかを解析的に検討している。透水型枠工法の脱水機構は、排水がブリーディング方向と透水シート方向の2方向に現れるため、2次元圧密理論を適用している。解析理論は線形圧密理論を用い、①間隙流体の質量保存、②流体の運動に対するダルシー則、③間隙を有する物体の釣合い、④間隙を有する物体の変形に対するフックの法則、⑤Terzaghiの有効応力原理の5つの基本仮定に立脚している。式(2.1)および式(2.2)に線形圧密理論の支配方程式を示す。

$$\frac{\partial}{\partial t}(u_{i,j}) - nm_f \frac{\partial \sigma}{\partial t} + \frac{k}{\gamma_w} (\sigma_{,i})_{,i} = 0 \quad (2.1)$$

$$[G(u_{i,j} + u_{i,j})]_{,i} + [(K - \frac{2}{3}G)u_{k,k}]_{,i} + f_i = 0 \quad (2.2)$$

ここに、 σ ：間隙水圧、 u_i ：粒子の変位ベクトル、 n ：間隙率、
 m_f ：間隙水の体積圧縮係数、 k ：透水係数、 γ_w ：水の単位体積重量、
 G ：せん断弾性係数、 K ：体積弾性係数、 f_i ：物体力、
 $,i$ ： i に対する偏微分

なお、解析に必要なコンクリートの要素特性は、透水特性と変形特性であり、透水特性は、変水位透水試験および加圧ブリーディング試験を行い、変形特性については、直接一軸圧縮試験を行なって決定している。

解析の妥当性を検証するため、30（縦）×60（横）×60（高さ）cmの試験体を用いた透水性型枠工法の排水量を測定している。図2-30および図2-31は、それぞれブリーディングおよびシート排水による排水量と時間の関係の解析値と実験値の比較を示しており、どちらも両者は比較的良好に一致している。また、脱水機構の検討として、解析によって等間隙水圧曲線を求め、それに直角な方向に水の流れが生じる（ダルシーの法則）として、図2-32に透水性型枠工法の水の流れの方向を示している。さらに、間隙比と圧縮強度の関係を求めて深さ方向の圧縮強度分布を推定しているが、実験値と解析値はあまり良く一致していない。これは、解析では固体部分の容積は一定とし、水の移動のみによって容積変化を求めているが、実際には、セメント粒子、砂粒子の移動が影響していることが考えられると報告している。

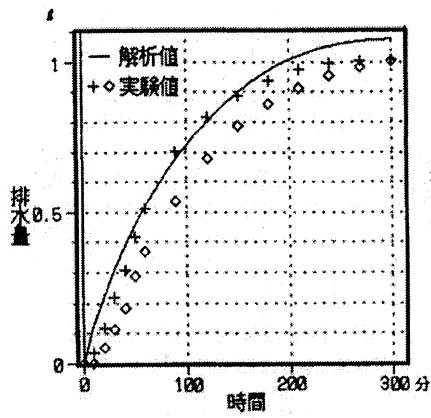


図 2-30 排水量-時間
(ブリーディング) [37]

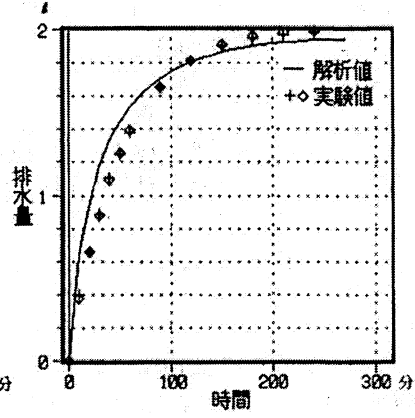


図 2-31 排水量-時間
(シート排水) [37]

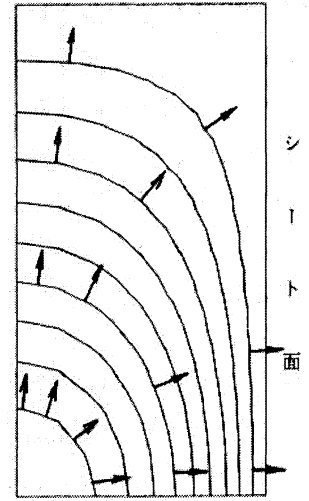


図 2-32 流れの方向 [37]

2.4 まとめ

本章では、透水型枠工法を用いたコンクリートの品質改善効果、および透水型枠を用いたコンクリート上層部の性能改善に関する既往の研究成果を示した。以下に本章で得られた知見を示す。

- 1) 透水シートを敷設した型枠は、敷設していないものに比べて排水量が極めて多くなり、再振動などの振動締固めを行うとさらに効果が期待できる。しかし、シートの種類や試験体形状の違いにより排水量に差が生じることがある。
- 2) 透水型枠を用いた場合では、表層で水セメント比の低下がみられる。また、下層に向かうほど圧密による影響が大きいいため上層に比べて中層および下層での低下は顕著である。
- 3) 透水型枠を用いたコンクリートのあばたは減少する。傾斜のみられる試験体では、透水シートの面積が大きくなり、あばた抑制効果が顕著になる。また、締固めの振動数が大きいものほどあばた抑制効果はさらに顕著になる。
- 4) 透水シートを用いた試験体では、下部の反発度が大きくなり、上部との差が顕著である。また、透水シートの種類による差はあまりみられないが、鉛直試験体の反発度の方が傾斜試験体のそれに比べて大きくなる傾向にある。透水型枠の使用による推定強度の伸びは、特に初期材齢において顕著であり、透水型枠面における推定強度は合板型枠面に比べて大きくなる。また、初期の湿潤養生が表面強度の発現に大きく影響する。
- 5) 透水シートを敷設した面は、敷設していない面に比べて透気係数が小さくなる傾向がある。また、透水シートを敷設していない面では、コンクリートの圧密の影響による高さ方向での値の差が大きかったが、透水シートを敷設した面ではその差異は小さく、これらの結果から、上部の測定個所においても、透水シートによる改善効果がある。
- 6) 透水面近傍ほど圧縮強度は大きく、透水型枠による強度改善効果が期待できる範囲は表面より 10 cm 程度の深さまでである。
- 7) 透水型枠試験体は合板型枠試験体に比べ、表層部分で細孔容積が大幅に減少している。これは透水型枠の排水作用により、コンクリート硬化体組織が緻密化したことによるものと考えられ、その品質改善効果は表面から 30 mm 程度と考えられる。
- 8) 透水シートをコンクリート表面に残すことによる湿潤養生効果は、常時散水養生とほぼ同程度の効果がある。
- 9) 透水性型枠を用いたコンクリート上層部の性能改善には真空脱水処理が最も有効であるが、実施工における利便性を考慮すれば、表面振動機による再振動締固めも有効である。

第 3 章 透水シートの表面張力に着目した上層部の品質改善手法の検討

3.1 概説

3.2 透水シートの排水メカニズム

3.3 透水シートに働く表面張力の力学特性（実験Ⅰ）

3.4 小型試験体による予備実験（実験Ⅱ）

3.5 表面張力の低減手法による品質改善効果の検証（実験Ⅲ）

3.6 まとめ

第3章 透水シートの表面張力に着目した上層部の品質改善手法の検討

3.1 概説

第3章「透水シートの表面張力に着目した排水メカニズム」では、透水シートから水が出る際の表面張力（抵抗）に着目し、どの程度の水圧で透水シートから水が排出されるかを確認する。また、透水シートに施す処理によって、表面張力がどの程度低減されるかを確認し、試験体上下間の強度分布がどの程度改善されるかを検討する。

3.2 透水シートの排水メカニズム

透水シートから余剰水が排出されるメカニズム（図3-1）は、透水シート孔のメニスカスに生じる表面張力（以下、 R ）がコンクリートの間隙水圧（以下、 L ）より小さい場合（ $R < L$ ）である。したがって、透水性能の改善手法として、透水シート孔のメニスカスに生じる表面張力を小さくする手法、または間隙水圧を大きくする手法が考えられる。

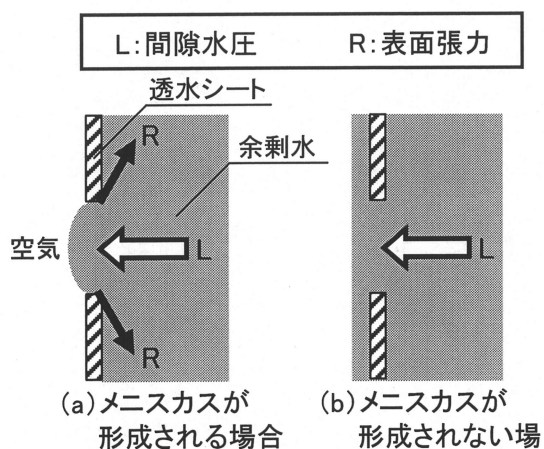


図3-1 透水性型枠から余剰水が排出されるメカニズム

3.3 透水シートに働く表面張力の力学特性（実験Ⅰ）

3.3.1 実験概要

透水シートに水を通すことで、各種要因のシートにおいて、水がシートを透過するために必要な水頭高さ（水圧）を測定した。

3.3.2 実験の要因水準

実験の要因と水準を表 3-1 に示す。シートの概要を表 3-2 に示す。本実験では孔径の異なる 2 種類の透水シートを使用した。親水塗料噴霧とは、試験前に霧吹きを用いて透水シートに親水塗料を塗布したものとした。同様に、水噴霧とは、試験前に霧吹きを用いて透水シートを水で濡れた状態にしたものとした。また追加孔開けの処理では、従来型透水シートのフィルム部分にまち針で孔を開けたものと、千枚通しで孔を開けたものを用いた。

表 3-1 実験要因および水準

要因	水準
透水シートの種類	従来型, 改良型
透水シートの前処理	無, 親水塗料噴霧 ^{*1} , 水噴霧 ^{*2}
追加孔開けの処理	無, 小孔追加 ^{*3} , 大孔追加 ^{*4}

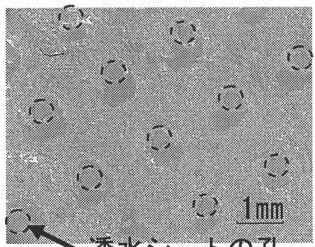
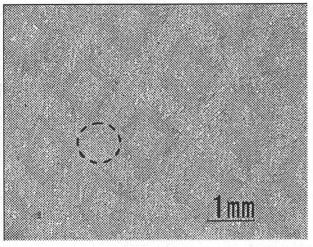
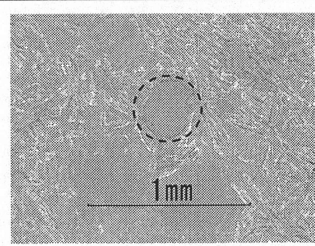
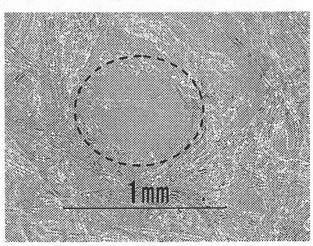
[註]*1: 親水塗料(10wt%)の粘性は、 $5\text{Pa}\cdot\text{s}$ (20°C)であった。

*2: 水の粘性は、 $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ (20°C)であった。

*3: 従来型フィルム部分に待ち針を用いて孔を開けた。

*4: 従来型フィルム部分に千枚通しを用いて孔を開けた。

表 3-2 透水シート概要

	従来型透水シート	改良型透水シート
画像(倍率25)		
孔径(mm)	0.62	1.22
孔間隔(mm)	1.5×1.5	4.75×4.75
有効数(個/ m^2)	444444.4	44321.3
開孔率(%)	13.4	5.2
透水シート孔詳細		

3.3.3 実験方法および測定項目

目盛りのついたφ5 cm、長さ1 mの亚克力製の円筒の底に、透水シートを貼り付けたアダプタを取り付け、衝撃がかからないように静かに円筒内に水を入れた。その後、透水シートから水が染み出る水頭高さを測定した。実験方法の概要を図3-2、写真3-1に示す。測定項目は、初期排水時の水頭高さと全面排水時の水頭高さとした。初期排水時の水頭高さは、透水シートの一箇所から排水が開始された時点での水頭高さとし、全面排水時（写真3-2）の水頭高さは、透水シートの全面から排水が認められた時点での水頭高さとした。

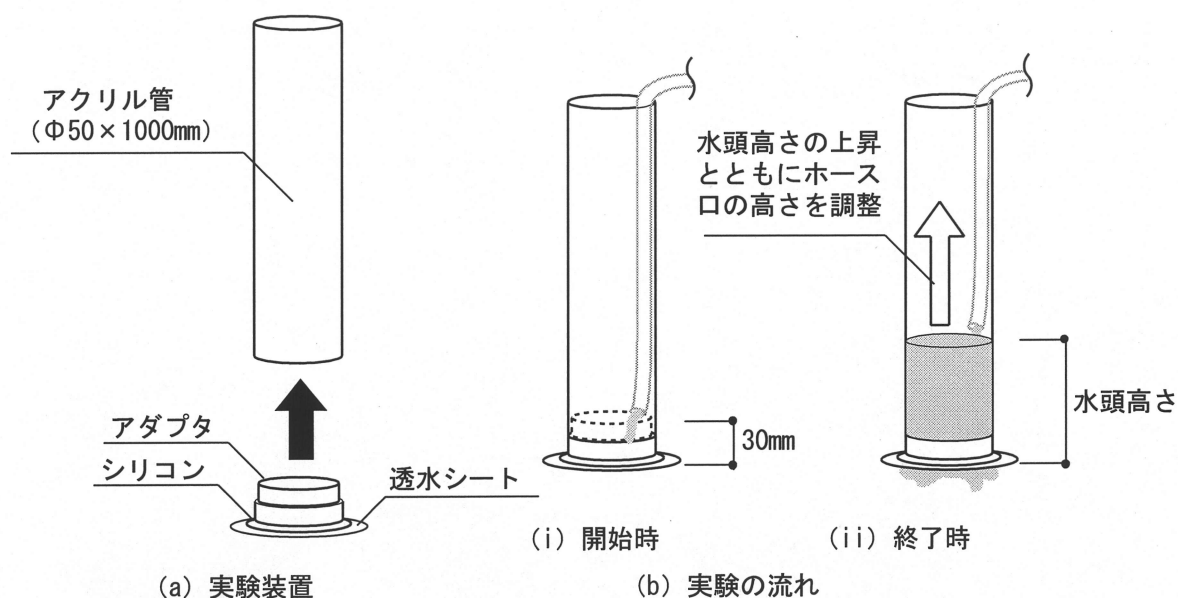


図3-2 実験概要（実験Ⅰ）

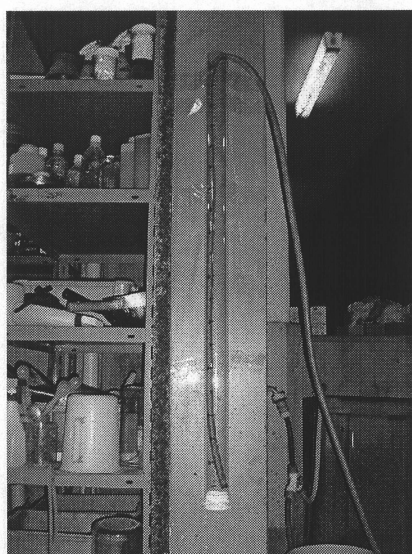


写真3-1 実験風景

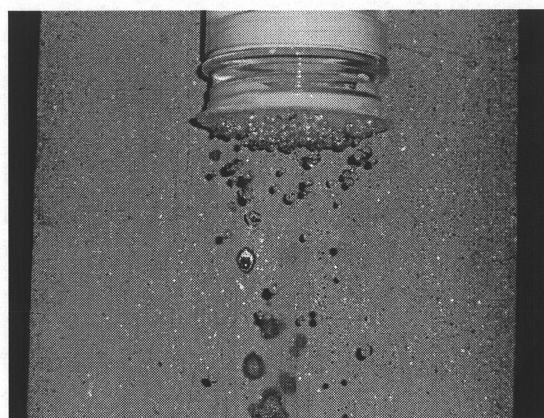


写真3-2 全面透水時の様子

3.3.4 実験結果および考察

初期排水時の水頭高さを図 3-3 に示す。全面排水時の水頭高さを図 3-4 に示す。追加孔開け処理の違いによる初期排水時の水頭高さ、全面排水時の水頭高さを図 3-5 に示す。無処理のものに比べ何らかの処理を加えたものは、初期排水時、全面排水時共に、排水に至るまでの水頭高さが低くなっていることが分かる。親水塗料噴霧の要因では、親水性塗料の効果によって、シート外側に水が引っ張られる力が働き、水頭高さが低くなったと考えられる。加えて、親水塗料を吹き付けることで、透水シートの孔に働く表面張力が低減され、水が抜ける際に必要な水圧が小さくなり、より小さな水圧でも排水が可能になったと考えられる。また、水噴霧の場合でも同等の効果が得られている。この理由として、水を噴霧しておくことによってシート表面に残留する水が、内部の水と一体化することによって排水が促進されたと考えられる。また、追加孔開けを行ったシートは、孔が大きいほど透水開始時の水頭高さが低くなっている。

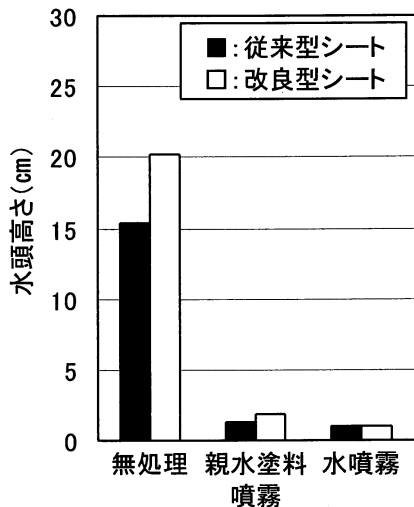


図 3-3 初期排水時の水頭高さ

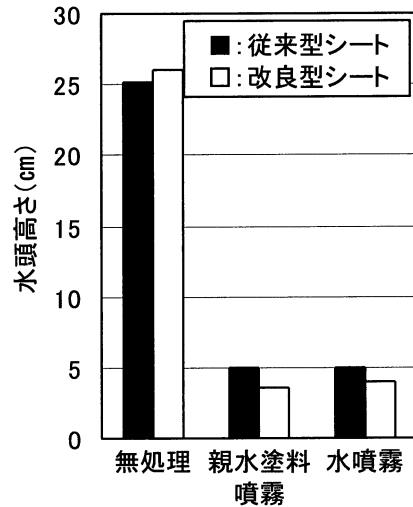


図 3-4 全面排水時の水頭高さ

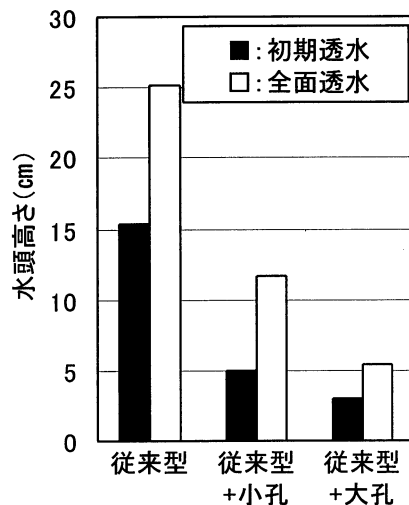


図 3-5 透水シートの開口面積による初期透水および全面透水時の水頭高さ

3.3.5 実験Ⅰまとめ

本章三節では、透水シートを水が透過する際に関係する表面張力と間隙水圧に着目し、各種条件による透水性能の改善効果についての検討を行った。本実験で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 孔径の大小を変えた透水性シートでは、透水開始時の水頭高さにはあまり差異が見られなかった。これは同じ面積あたりにある孔の数が改良型シートは 1/10 であり、開孔率が低かったためと考えられる。
- 2) 開孔面積が大きければ、透水開始時の水頭高さが減少するという傾向が見られた。
- 3) シートを予め水で湿らせておくことによって、透水開始時の水頭高さが減少するという傾向が見られた。
- 4) シートを予め親水性塗料を噴霧しておくことによって、透水開始時の水頭高さが減少するという傾向が見られた。

3.4 小型試験体による予備実験（実験Ⅱ）

3.4.1 実験概要

本章三節では、透水性能向上の効果を、実際に透水シートに水を通すことによって確認した。その結果、親水性塗料を塗布した要因と水湿しを行った要因で、透水に必要な水頭高さが減っているのが確認できた。そこで本節では、実際にコンクリートを用いて透水性能の確認を行った。本実験ではコンクリート鉛直部材の上層部を仮定した小型試験体を用いた。

3.4.2 実験の要因水準および調合表

(1) 実験要因

表 3-3 に各試験体の改善処置方法とシートの種類を示す。

表 3-3 各試験体の改善処置方法および使用透水シート

試験体No.	改善処置方法	シートの種類
No.1	無処理	従来型(孔径小)
No.2	水噴霧	
No.3	親水性塗料噴霧	
No.4	再振動	
No.5	無処理	改良型(孔径大)

[註]*1: 親水性塗料(10wt%)の粘性は $5\text{Pa}\cdot\text{s}$ (20°C)であった。

*2: 水の粘性は $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ (20°C)であった。

*3: 打設60分後に20秒間の振動を加えた。

(2) 調合表

表 3-4 に本実験で使用したコンクリートの調合表を示す。

表 3-4 調合表

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m^3)			
			W	C	S	G
20	65	56	185	285	993	801

[註]Fc: 目標圧縮強度, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率,

W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

3.4.3 実験方法および測定項目

(1) 試験体概要

(a) 試験体サイズおよび型枠概要

図3-6に試験体概要を示す。本実験で用いる試験体は150（幅）×150（高さ）×150（厚さ）mmの無筋コンクリートとし、透水面は一面のみとした。せき板には、厚さ3mmほどの鉄板を使用した。また、せき板同士の隙間から漏水を防止するためにシリコンで止水を行った。

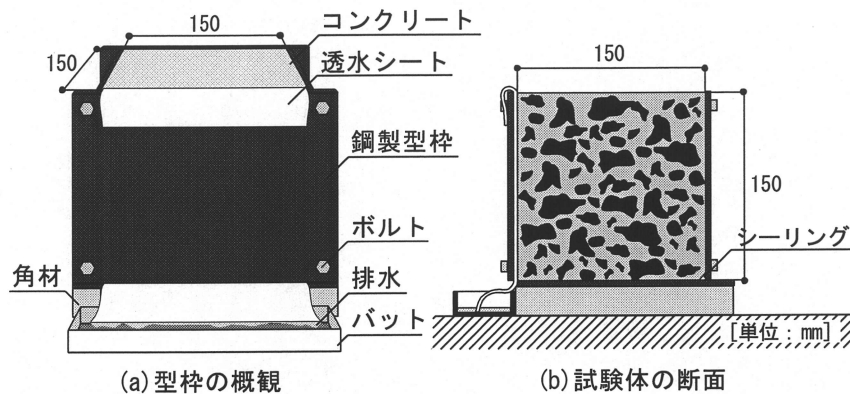


図3-6 実験Ⅱ試験体概要

(b) 試験体作成方法

試験体作成方法を示す。型枠に離形剤を塗布し、コンクリートは2層に分けて打設した。1層打設ごとに、突き棒による25回突きおよびジッキングによる締固めを行った。その後、ブリーディングの様子を確認しやすくするため、試験体上面をコテで仕上げ、試験体を静置し、透水の様子を観察した。再振動を行う試験体は、他の試験体と距離を取り、再振動の影響が他の試験体に及ばないように留意した。再振動処理は、コンクリート打設後、透水量測定開始から60分後に、10分間の振動を2回、型枠振動機（写真3-3、写真3-4）を用いて、透水面側から行った。



写真3-3 型枠振動機

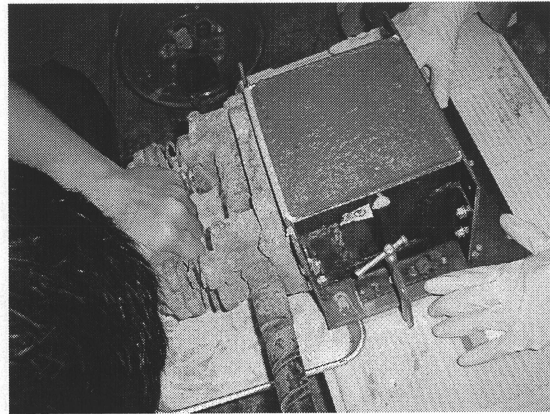


写真3-4 再振動を行う様子

(2) 測定項目

(a) 雰囲気

日付、天気を記録し、温度および湿度の測定を行った。

(b) フレッシュ性状

フレッシュ性状として、スランプ、空気量、コンクリート温度の測定を行った。

(c) 排水量

透水シートからの排水量は、透水シートから排出された水をバットに採取し、測定時間毎に秤にのせて測定をいった。測定間隔は、測定開始から 30 分までは 5 分間隔、30 分から 60 分の間は 10 分間隔、60 分から排水終了までは 30 分間隔とした。なお、排水終了は、バットに受けた排水量が前回の測定結果と同値、あるいは小さくなった時と定義する。

3.4.4 実験結果および考察

(1) 雰囲気およびフレッシュ性状

表 3-5 に実験時の雰囲気、フレッシュコンクリートのスランプ（写真 3-5）、空気量、およびコンクリート温度を示す。

表 3-5 雰囲気およびフレッシュ性状

打設日	気温 (°C)	湿度 (%)	実測スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
2008 10/31	18	47	18.9	2.5	18

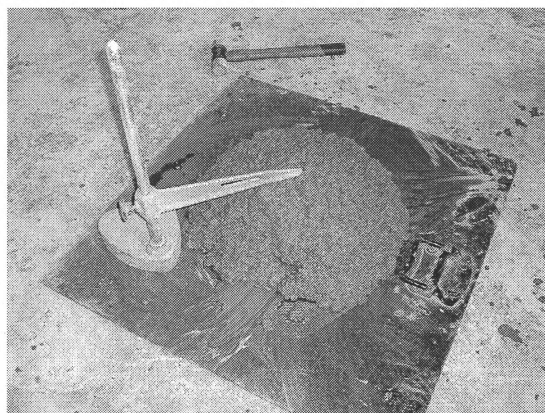


写真 3-5 スランプ試験の様子

(2) 透水量

透水量を図 3-7 に、透水量の時刻歴を図 3-8 に示す。実験の様子を写真 3-6 に示す。これによると、孔径が大きい透水シートの排水量が最も大きくなっている。

透水シートに行った改善処置で透水量を比較すると、水噴霧を行った試験体の透水量が大きくなっている。これは、コンクリートからの排水が、透水シートの不織布に残留している水と一体化することによって、表面張力が働きにくくなったためと考えられる。

親水性塗料の有無で透水量を比較すると、透水量に差は見られない。これは表 3-3 の註釈で示している親水性塗料の粘性が原因で、型枠と透水シート間の排水が残留し、透水シート近傍のコンクリートの間隙水圧が低下せず、それ以上の排水が阻害されたためと考えられる。

再振動の有無で透水量を比較すると、再振動を加えた試験体の透水量が大きくなっている。これは、振動を加えることによってコンクリート中の間隙水圧が上昇し、排水が促進されたためと考えられる。また、透水量の時刻歴を見ると、再振動処置を行った試験体は、試験開始から 60 分後の透水量の増加が顕著であると言える。

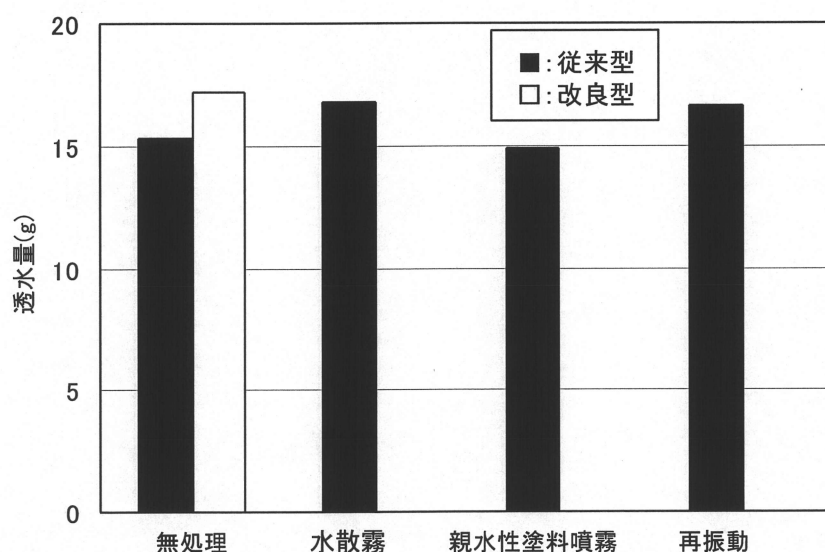


図 3-7 各試験体の最終透水量

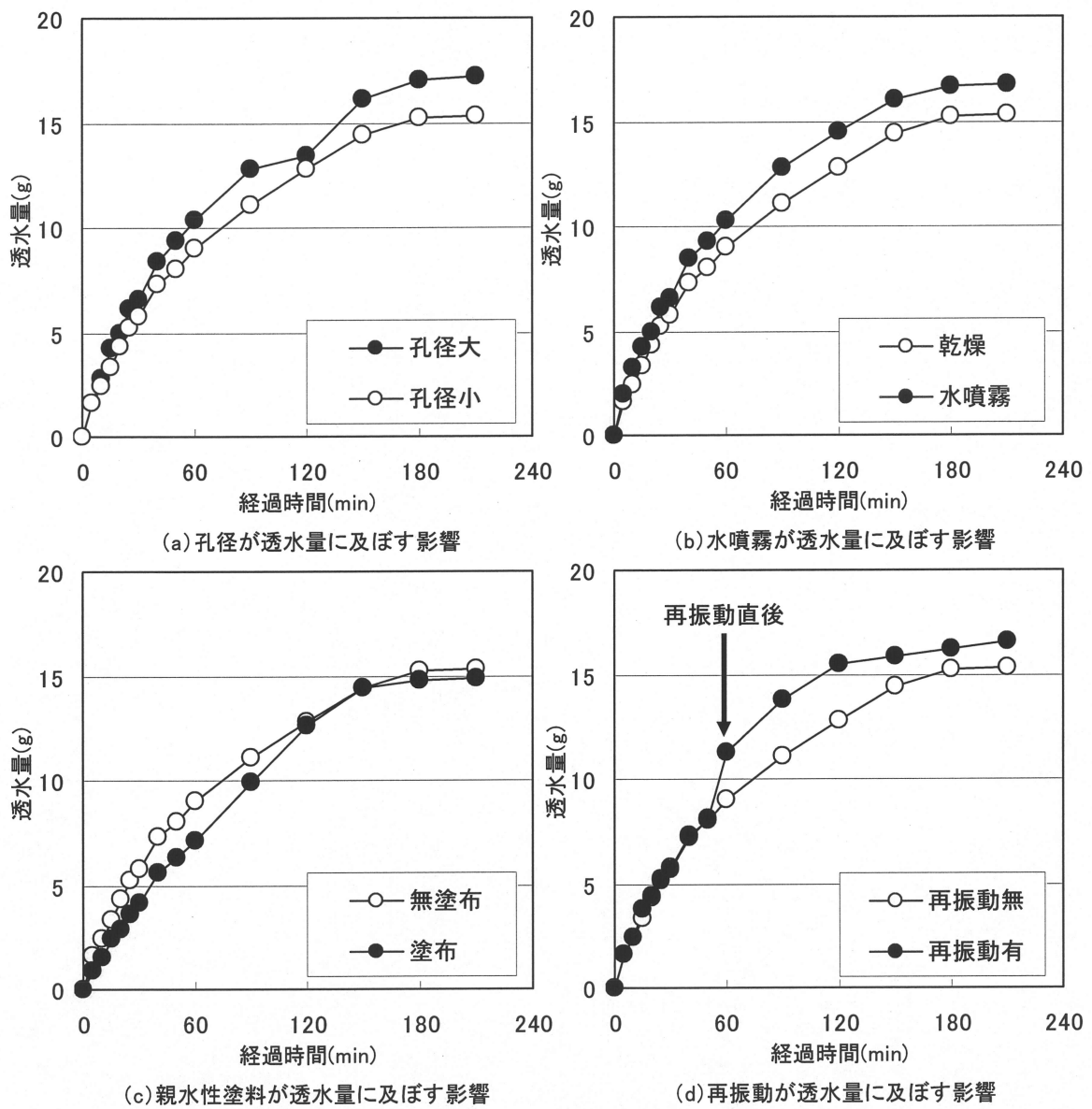


図 3-8 透水量の時刻歴

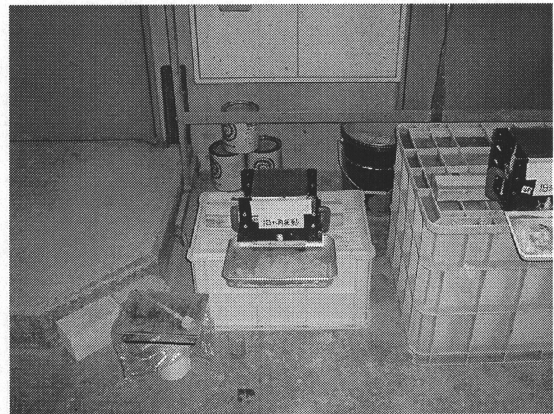


写真 3-6 小型試験体による透水実験の様子

(3) 目視観察により確認できた事項

親水性塗料の噴霧を行った試験体では、透水性シート側の上部でブリーディングが発生しなかった（写真 3-7）。一方、その他の試験体においては、透水性シート側の上層部においてもブリーディングが発生した（写真 3-8）。このことは、側圧のかからない最上層部分でも表層部の品質改善効果が期待できると予想される。また型枠脱型時に、透水シートはコンクリートに張り付いており、透水シートをコンクリート表面に残留させることは容易であることが確認できた（写真 3-9）。



写真 3-7 親水性塗料を噴霧した試験体
（ブリーディングが無い）



写真 3-8 シート側にブリーディングが
貯まっている試験体の様子

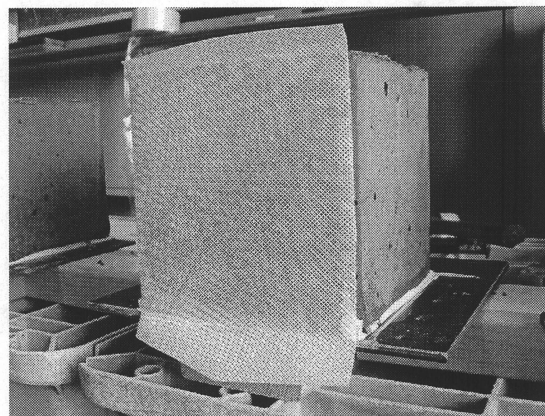
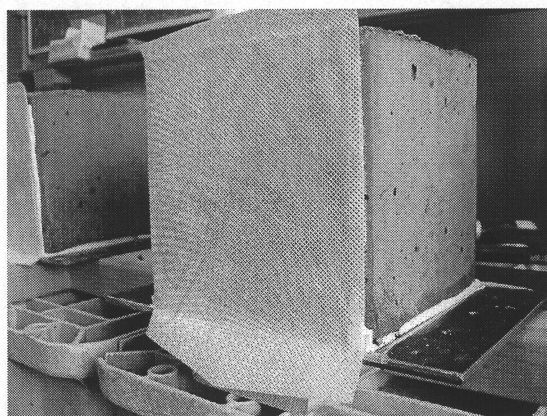


写真 3-9 型枠脱型後にコンクリート表面に張り付いている透水シート

3.4.5 実験Ⅱまとめ

本章四節では、三節で得られた実験結果に基づき、実際にコンクリートを用いて透水性の確認を行った。本実験で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 実験Ⅱにおいても水噴霧を行うと透水量が多くなることが確認できた。また、実験Ⅱでは、透水シートの孔径を大きくする処置、再振動においても透水量が多くなった。
- 2) 親水性塗料を使用する場合、塗料自体の粘性を考慮する必要がある。
- 3) 親水性塗料を噴霧すると透水シート側の最上層においてブリーディングが発生しなかった。
- 4) 透水シートをコンクリート表面に残留させることができる。

実験Ⅰおよび実験Ⅱの結果を踏まえて、大型供試体における実験要因を決定し、構造体上層部での品質改善手法を検討する。

3.5 表面張力低減手法を採用した大型供試体による品質改善効果の検証（実験Ⅲ）

3.5.1 実験概要

実験Ⅰおよび実験Ⅱにて採用した改善処置によって、透水性能を向上させることが可能であることが示唆された。本節では、高さ 100 cm の試験体を用い、上層部と下層部を比較することによって、コンクリートの品質が均一になるかどうかを確認した。

3.5.2 実験の要因水準および調合表

(1) 実験要因

表 3-6 に実験要因を示す。表 3-7 に各試験体の改善処置方法とシートの種類を示す。実験Ⅲでは 7 体の試験体を用いた。本実験では透水シートを表面に残すことによる乾燥防止効果を試験的に検討した。

表 3-6 実験要因および水準

要因	水準
型枠の種類	透水型枠, 合板型枠(シート無し)
シートの種類	従来型, 改善型
透水シートの水分状態	乾燥, 湿潤
親水性塗料	無塗布, 塗布
再振動	無, 有
シート貼付	無, 有

[註]__:基本水準

*1:打設60分後に行い, 20秒間の振動を加えた。

*2:シート貼付は材齢7日まで行った。

表 3-7 各試験体の改善処置方法および使用透水シート

試験体No.	改善処置方法	シートの種類
No.1	無処理	従来型(孔径小)
No.2		シート無し
No.3		改良型(孔径大)
No.4	水噴霧	従来型(孔径小)
No.5	親水性塗料噴霧	
No.6	再振動	
No.7	シート貼付養生	

(2) 使用材料および調合

表 3-8 および表 3-9 に使用材料および調合を示す。なお、実験Ⅲにて使用したコンクリートは、レディーミクストコンクリートを購入した。

表 3-8 使用材料

使用材料	種類	産地または品名	粗粒率または実積率	密度
セメント	普通ポルトランドセメント	-	-	3.16
細骨材	砂	内部川水系	2.8	2.57
粗骨材	砂利	内部川水系	62.5	2.65
混和剤	AE減水剤標準形	ポリゾス78S	-	-

表 3-9 調合表

W/C (%)	s/a (%)	SL (cm)	単位質量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
60	54.1	18	185	308	907	848

[註] W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率, SL: 設計スランプ
W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

3.5.3 実験方法および測定項目

(1) 試験体概要

(a) 試験体サイズおよび型枠概要

図 3-9 に試験体概要を示す。実験Ⅲで用いる試験体は 450 (幅) × 1000 (高さ) × 150 (厚さ) mm の無筋コンクリートとし、透水面は一面のみとした。せき板には、鋼製型枠を使用し、せき板同士の隙間から漏水を防止するためにシリコン樹脂で止水を行った。

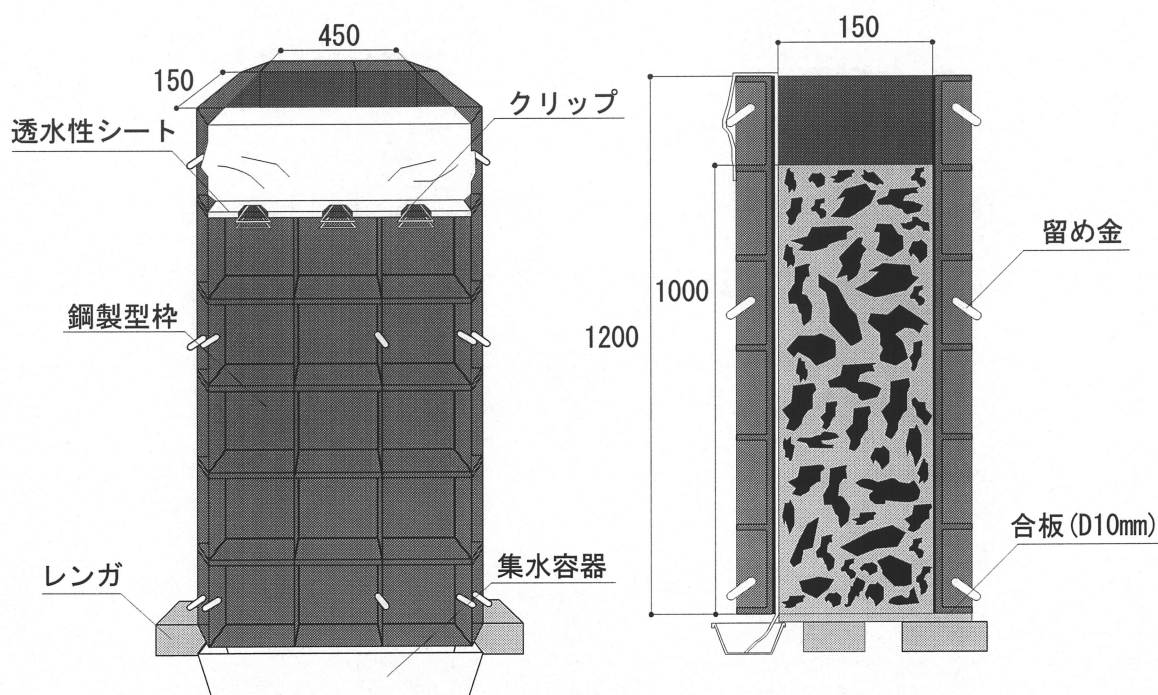


図 3-9-1 実験Ⅲ型枠概要

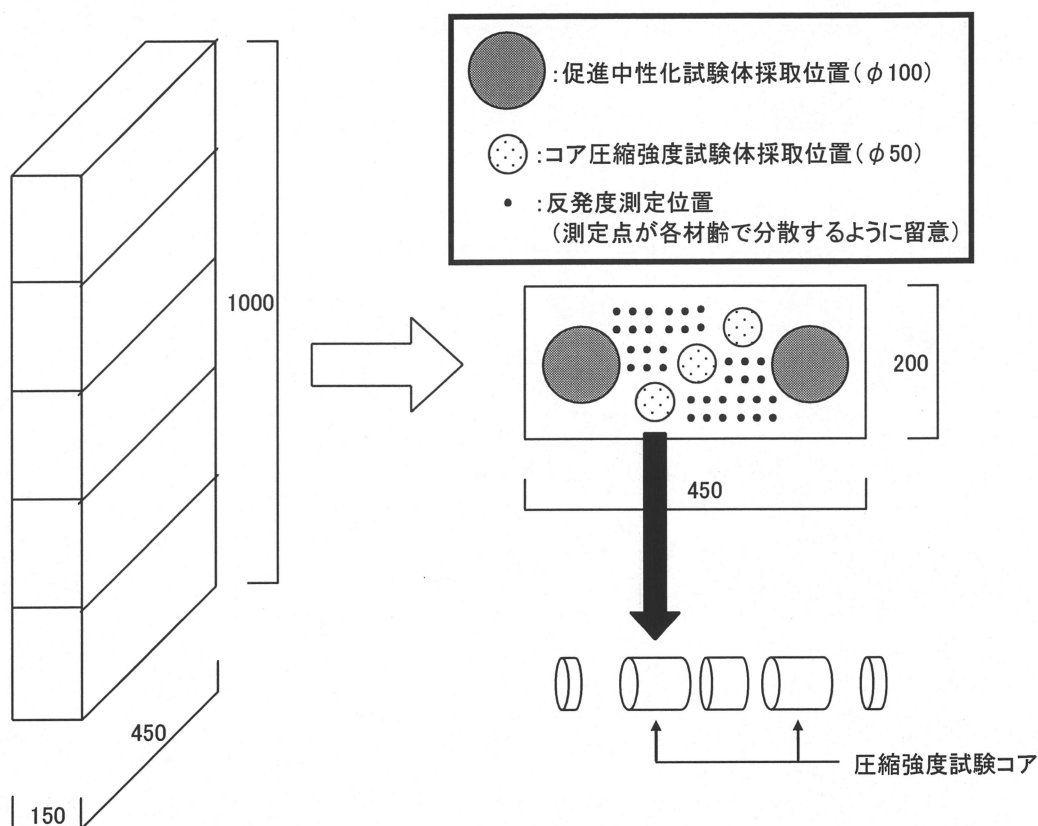


図 3-9-2 実験Ⅲ試験体概要

(b) 試験体作成の様子

写真 3-10 に透水シートに水湿し（水噴霧）を行っている様子を示す。透水シートに行う前処理はコンクリート打設日以前に終了しており、透水面以外には離形剤を塗布してある。写真 3-11 に試験体作成の様子を示す。コンクリートの打設は2層に分けて行い、各層棒状バイブレータを用いて25秒間の締固めを行った。型枠の脱型は材齢3日で行い、その後、実験室内において横向きに静置し、気中養生を行った。シート貼付養生を行った試験体の透水シートは材齢7日に撤去し、その後は他の試験体と同じく気中養生とした。

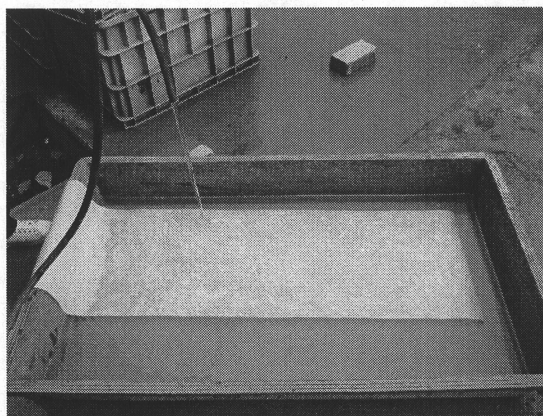


写真 3-10 透水シートに水湿しを行っている様子

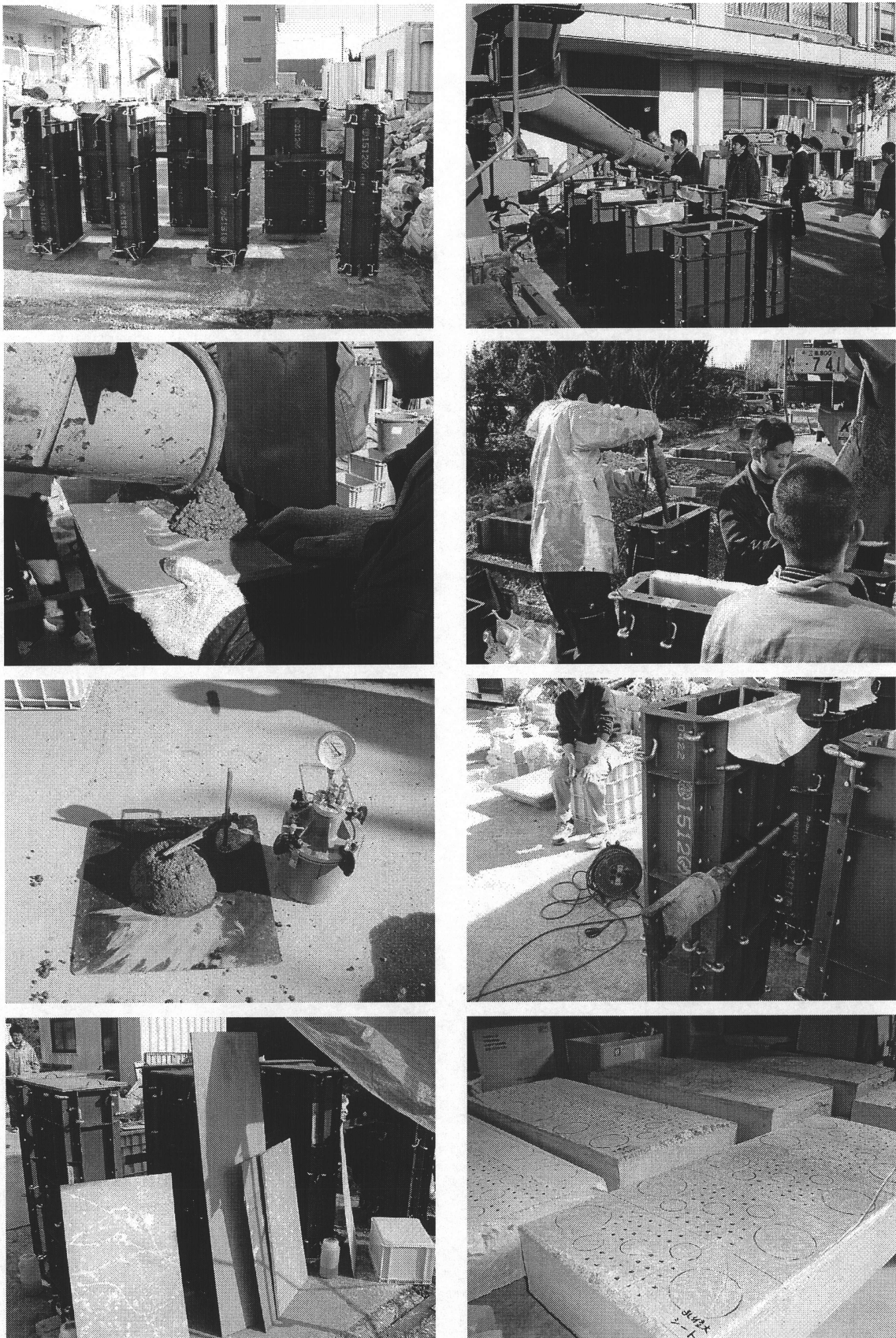


写真 3-11 試験体作成の様子

(2) 測定項目

(a) 雰囲気

日付、天気を記録し、温度および湿度の測定を行った。

(b) フレッシュ性状

フレッシュ性状として、スランプ、空気量、コンクリート温度の測定を行った。また、材齢 28 日における圧縮試験用に $\phi 100 \times 200$ mm の円柱試験体を 4 体作製した。また、JIS ブリーディング試験も平行して行った。

(c) 排水量

透水性型枠工法の排水量は、透水シートから排出された水をバットに採取し、測定時間毎に排水を集水容器に移し、秤にのせて測定を行った。また合板型枠の試験体のみ、試験体上面からブリーディング水を採取し、脱水量とした。

(d) 反発度

反発度の測定は、P 型テストハンマ（写真 3-11）を用いて行い、各層、各材齢において 12 点で測定した。その際、測定点が各材齢で分散するように留意した。測定箇所は、処理面（透水面）のみで、試験体を 5 層に分割して測定している。（図 3-9-2 参照）なお、測定材齢は 3, 7, 28 日である。

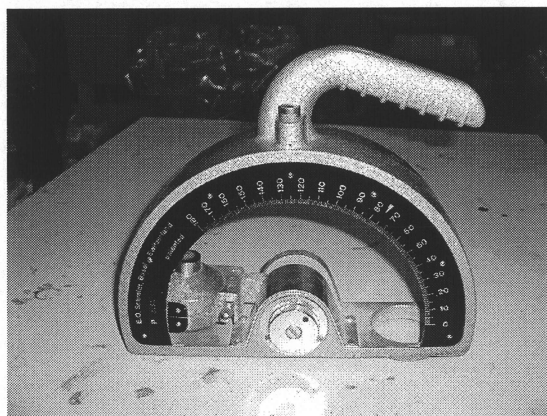


写真 3-11 P型テストハンマ

(e) 圧縮強度

反発度を測定後、試験体からコア試験体を採取し、それを整形して、圧縮強度測定用の試験体とした。コア試験体は、材齢 28 日から材齢 29 日の間に、コアドリルで $\phi 50$ mm \times 150 mm のものを、試験体高さ 10 cm, 50 cm, 90 cm の位置から 3 本ずつ採取した。その後、表層 5 mm をカットし、次に高さ 55 mm の試験体を透水面側、非透水面側からを採取した。なお、測定材齢は 30 日である。

(f) 促進中性化深さ

促進中性化試験体の作成方法を示す。試験体材齢 28 日においてコアドリルで $\phi 100$ mm \times 150 mm のコアを試験体から採取した。その後、恒温恒湿室にて養生を行い、表層面のみ残し

て側面にエポキシ系樹脂でシーリングを施し、十分に乾燥させたものを促進中性化試験体とした。

促進中性化試験は、温度 20℃、湿度 60%、二酸化炭素濃度 5%の促進中性化槽にて 26 週間行った。その後、試験体を割裂引張破壊させて分割し、フェノールフタレイン 1%エタノール溶液を吹きかけて中性化深さを測定した。

3.5.4 実験結果および考察

(1) 雰囲気, フレッシュ性状

表 3-10 に実験時の雰囲気, フレッシュコンクリートのスランプ, 空気量, コンクリート温度, 材齢 28 における円柱供試体の圧縮強度を示す。

表 3-10 雰囲気およびフレッシュ性状

打設日	試験体名	気温 (℃)	湿度 (%)	実測 スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	材齢28日 圧縮強度 (N/mm ²)
2008 12/8	透水/孔小	12	39	17.6	6.5	14.5	19.34
	合板(シート無し)						
	透水/孔大						
	透水/孔小/水噴霧						
	透水/孔小 親水塗料噴霧						
	透水/孔小/再振動						
	透水/孔小/シート貼付						

(2) JIS ブリーディング試験

図 3-10 に JIS ブリーディング試験の時刻歴を示す。冬季の実験であったので、ブリーディングの収束に時間を要している。

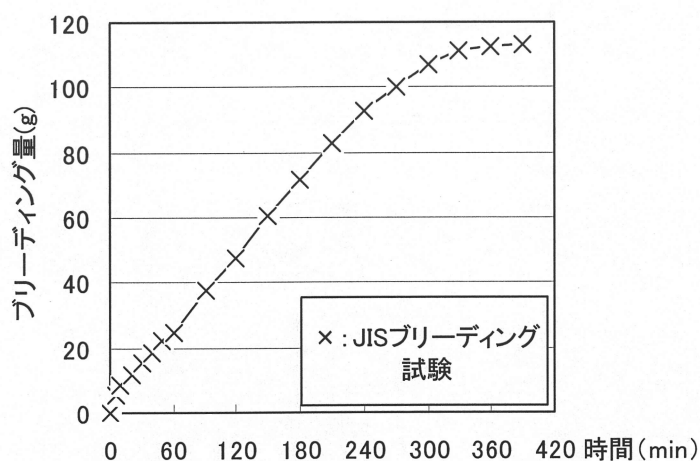


図 3-10 JIS ブリーディング試験の時刻歴

(3) 排水量

各試験体の排水量を図 3-11、写真 3-12 に示す。なお、表 3-7 における No. 1 と No. 7 の試験体は、透水量を検討する上では同一条件であるので、平均値として記載している。透水シートの孔径で比較すると、孔の大きい透水シートにおいて、わずかではあるが透水量が多くなっている。透水シートに施した前処理で比較すると、水噴霧および親水性塗料噴霧の要因のいずれも、無処理のものと透水量の変化があまり見られない。この原因としては、前日中に処理を行ったために、シート内の水分が蒸発してしまい、十分な処置効果を得られなかったと考えられる。同様に、親水性塗料も前日に処置を行ったために、塗料の効果を十分に発揮できなかったと考えられる。再振動を行った試験体では、透水量が多くなっていることがわかる。

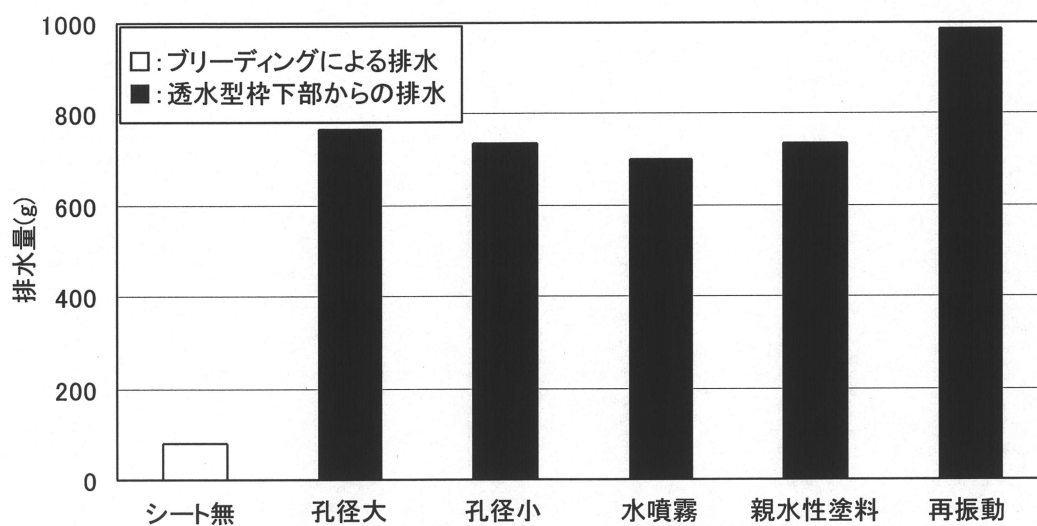


図 3-11 各種要因ごとの最終排水量

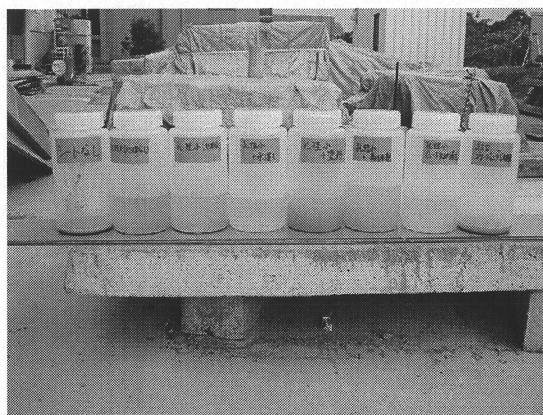


写真 3-12 各種要因ごとの最終排水量

排水量の時刻歴を図3-12に示す。これによると、孔径の違いによっても、透水シートに施した前処理の違いによっても、排水の挙動はほとんど変わらないことがわかる。一方、再振動によっては、排水が促進されており、経過時間60分以後の排水曲線の勾配が大きくなっていることがわかる。

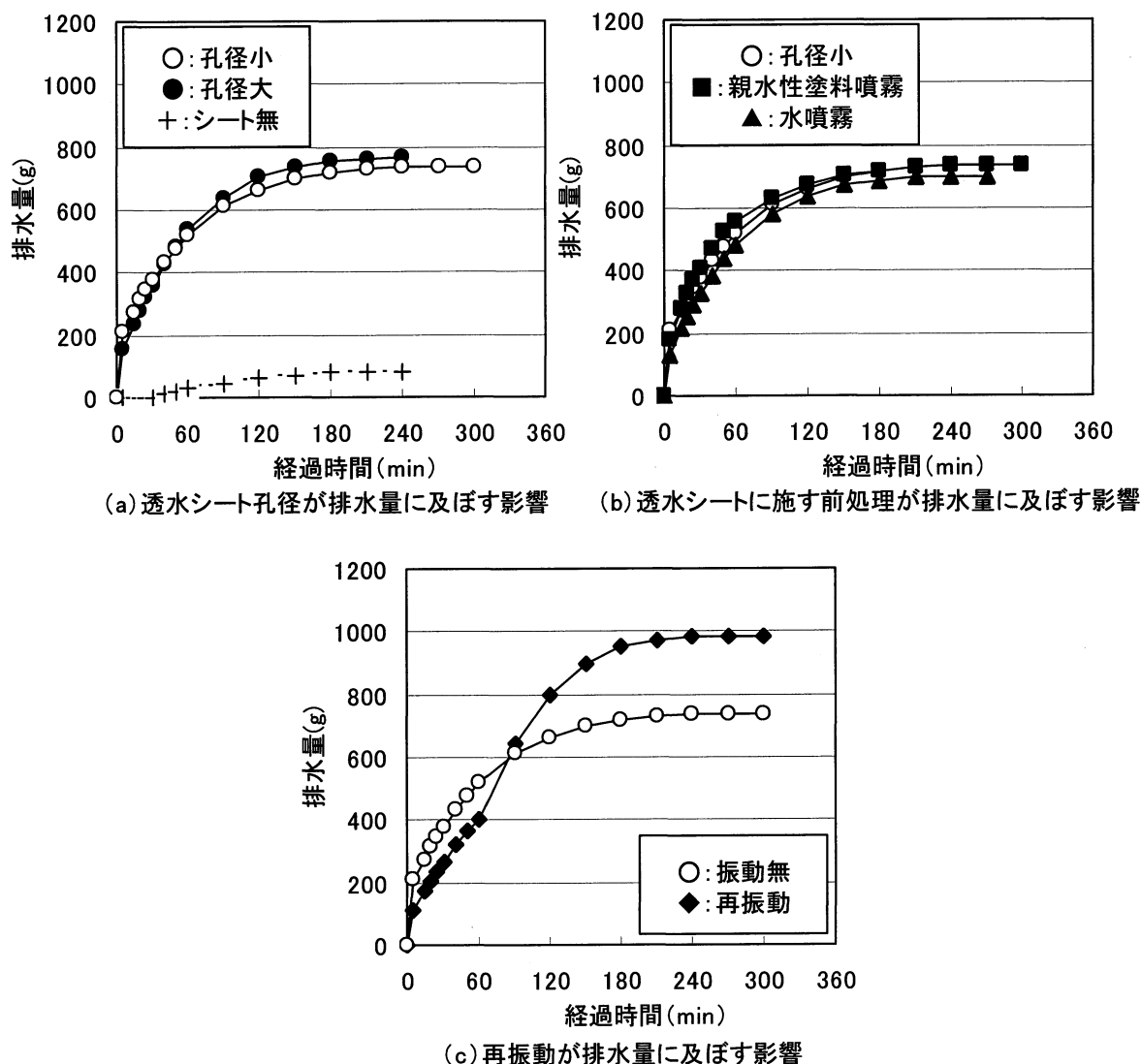


図3-12 各種要因ごとの排水量の時刻歴

(4) 反発度による推定圧縮強度

各材齢における反発度から、式(3.1) [45] を用いて推定した圧縮強度を、図3-13に示す。シート貼付養生は材齢7日まで行ったため、材齢3日におけるシート貼付養生の推定圧縮強度は無い。

$$F_c = (6.44R - 112.5) \times 9.8 \quad (\text{式 3.1})$$

ここに、 F_c : 圧縮強度 (N/mm^2)、 R : 反発度 (P型ハンマ、水平面を打撃)

これによると、透水シートを使用するとほぼ全ての試験体および材齢において、シート無の要因より高くなっている。

透水シートの孔径の大きさによる推定圧縮強度の変化を見ると、孔径小の推定圧縮強度が、どの材齢においても上回っている。既往の研究[32]において排水量と強度改善の間には、ある程度の相関関係があると報告しているが、本実験ではそのような結果は得られなかった。

透水シートに施す前処理による推定圧縮強度を比較すると、無処理と水噴霧では明確な差は見られず、親水性塗料噴霧の要因では、逆に下層部において強度が上がっていない。水噴霧の要因については、前項でも述べたとおり、処理を施してからコンクリート打設まで時間が経ってしまい、十分に効果が得られなかったと考えられる。親水性塗料噴霧の要因については、親水性塗料の粘性により、排水が阻害されてしまったことが原因と考えられる。

再振動を行った試験体では、どの材齢および高さにおいても高い推定圧縮強度となっており、十分な改善効果が得られていることがわかる。

シート貼付養生を行った試験体では、材齢7日においては、推定圧縮強度は低くなっているが、材齢28日においては、再振動と同等の値となっている。この結果により、初期養生条件が良くなっていることが示唆された。

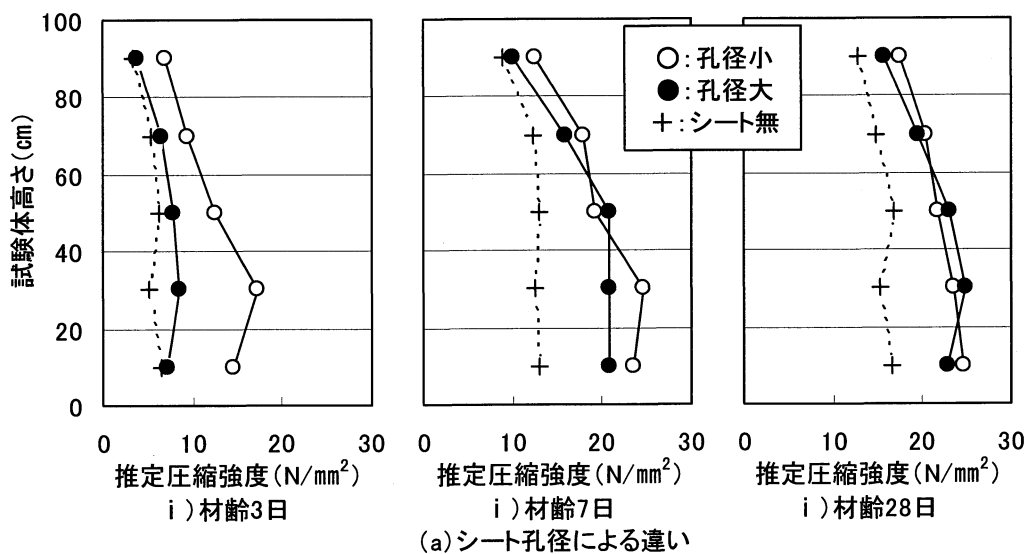


図 3-12-1 各種要因ごとの各材齢における推定圧縮強度

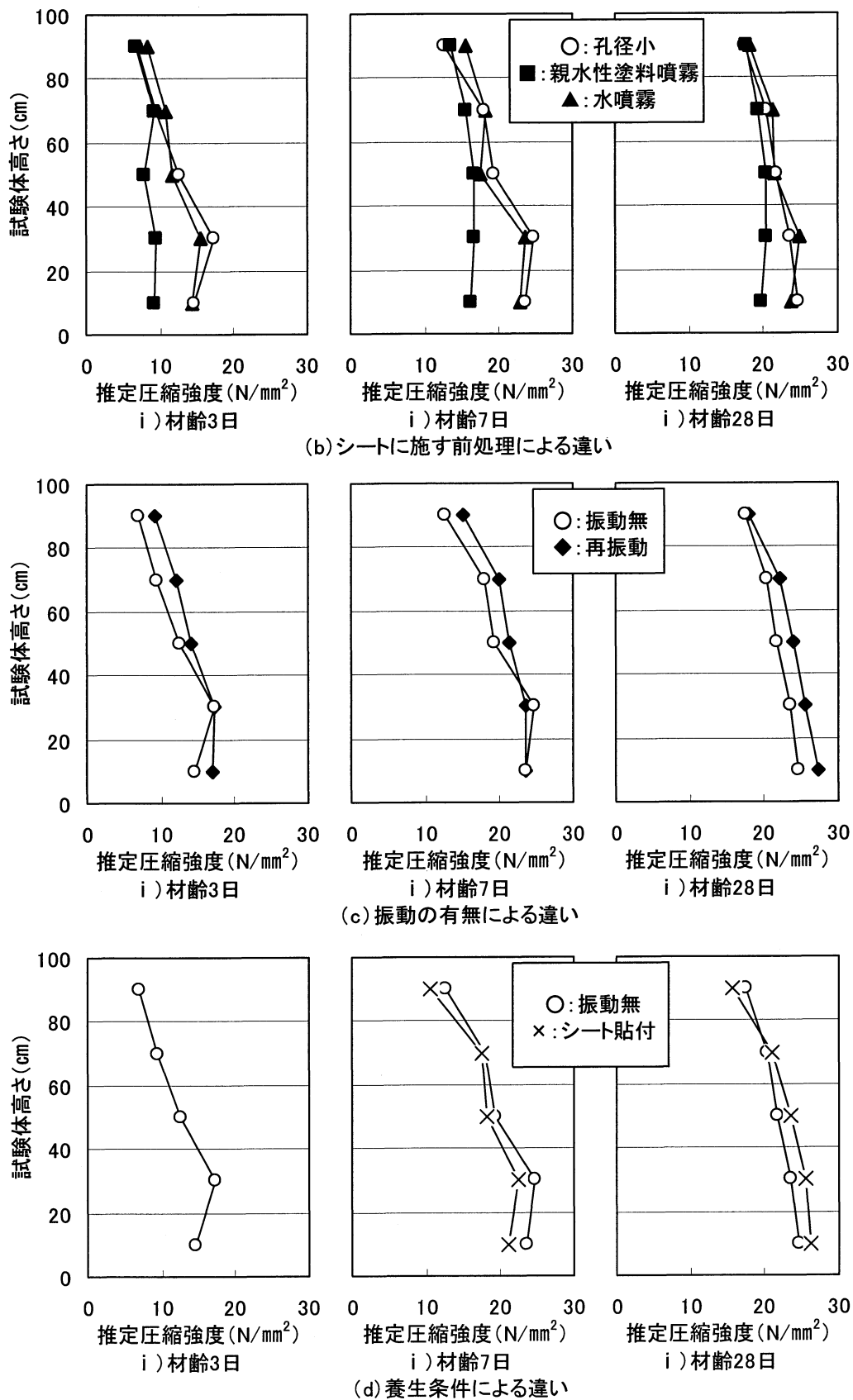


図 3-12-2 各種要因ごとの各材齢における推定圧縮強度

(5) コア試験体の圧縮強度

材齢 30 日における各試験体の透水面側の高さ方向のコア圧縮強度を図 3-13 に示す。これによると、最下層部（試験体高さ 100 mm）では、シート無と比較して圧縮強度は大きくなっている。しかし、全体的に過去の文献よりも改善の割合が小さく、特に最上層部（試験体高さ 900 mm）では、シート無と他の要因との間に差がなく、強度改善効果は現れていない。これはコア供試体作成時、表層から 0~5 mm をカットしたために透水性シートの効果が最も現れる部分が試験に反映されなかったことが原因と考えられる。

その中でも、最も改善効果が得られていたものは再振動を加えたものであった。

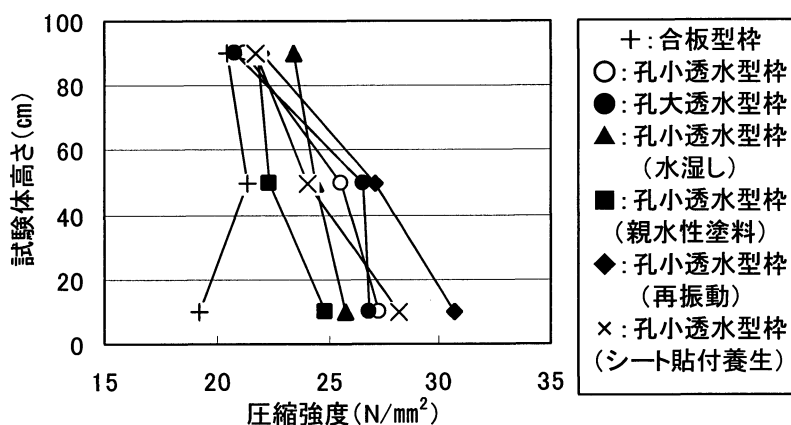


図 3-13 材齢 30 日における各試験体の透水面側のコア圧縮強度

(6) 中性化深さ

促進中性化養生を 26 週行った後の、各試験体における試験体高さごとの中性化深さを図 3-14 に示す。これによると、透水性型枠を使うことによって中性化深さは低減されるが、透水シートの孔径、水噴霧、再振動によってほぼ同じ値となっており、耐久性の向上は見られなかった。なお、親水性塗料を用いた試験体は、透水量が得られなかったこと、および、促進中性化試験槽の容量を考慮し、試験を省略した。

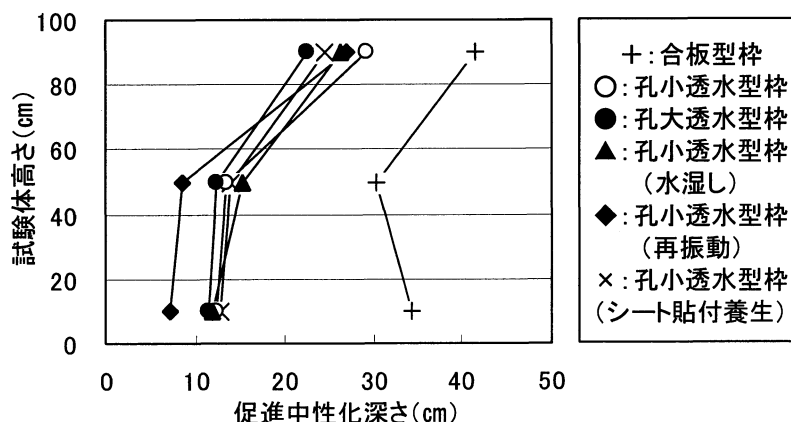


図 3-14 各試験体における試験体高さごとの中性化深さ

3.6 まとめ

本章では、透水シートから水が出る際の表面張力（抵抗）に着目し、透水シートに施す処理によって、表面張力がどの程度低減されるかを確認し、試験体上下間の強度分布がどの程度改善されるかを検討した。実験により得られた知見を以下に示す。

- 1) 透水シートに発生する表面張力を低減する方法によっては、均質なコンクリートを得るには至らなかった。
- 2) 親水性塗料噴霧や水噴霧の処理では、処理を施してから時間が経ちすぎて十分な改善効果が得られないという問題が生じたため、施工に最適な方法を検討しなければならない。
- 3) 再振動処理は、排水量や、表面強度および内部圧縮強度にも改善効果を与えた。

第 4 章 透水シートの保水性能およびコンクリートの側圧分布に着目した品質改善手法の検討

4.1 概説

4.2 シート貼付時および間隙水圧分布低減時の品質改善効果（実験Ⅳ）

4.3 水中養生時のポテンシャル確認実験（実験Ⅴ）

4.4 まとめ

第 4 章 透水シートの保水性能およびコンクリートの側圧分布に着目した品質改善手法の検討

4.1 概説

第三章の透水シートの表面張力に着目した実験では、上層部の十分な品質改善効果を得るには至らなかった。そこで本章ではコンクリートの側圧分布に着目し、固練りのコンクリートを用いることによって、側圧分布を低減し、内部振動機を十分にかけることによって、均質なコンクリートを得ることを試みた。また、「いかにコンクリート中の余剰水を排出するか」という着眼点以外に「いかに初期養生期間を延長するか」という点にも着目し、透水シートを養生シートとして併用する方法について検討を行った。その方法として、型枠と透水シートを一体化させずにコンクリート表面に残留できるようにし、脱型後も透水シートをコンクリートに貼り付けた状態にする手法を検討した。

まず実験Ⅳとして、シート貼付時および固練りコンクリートを十分に締め固めた場合の品質改善効果について検討を行った。次に実験Ⅴとして、湿潤養生時のポテンシャル確認のための実験を行った。

4.2 シート貼付時および側圧分布低減時の品質改善効果（実験Ⅳ）

4.2.1 実験概要

透水シートを養生シートとして併用した場合の品質改善効果について検討する。また超固練りコンクリートを十分に締め固めた場合の品質改善効果についても検討する。高さ 100 cmの試験体は、上層部が高さ 50 cmの試験体と同じ品質になっているかを確認するために作製した。

4.2.2 実験の要因水準および調査表

(1) 実験要因

表 4-1 に実験要因を示す。本実験では上層部の性能比較のため、高さ 1mの試験体を作製した。

表 4-1 実験要因および水準

要因	水準
型枠の種類	透水型枠, 通常型枠
初期養生方法	気中養生 ^{*1} , シート貼付け養生 ^{*2}
スランプ ^{*3}	15cm, 5cm
試験体高さ	500mm, 1000mm

[注]__:基本水準

*1:材齢3日で脱型後実験室内にて気中養生。

*2:脱型後は材齢10日まで透水シート貼付け養生。

*3:スランプにより打設時の振動時間を変化させる。

(2) 使用材料および調査

表 4-2 および表 4-3 に使用材料および調査を示す。実験Ⅳに使用するセメントは、中庸熱ポルトランドセメントとした。

表 4-2 使用材料

使用材料	特性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント($\rho=3.21\text{g}/\text{cm}^3$)
細骨材	安濃川産陸砂:花こう岩質砂岩($\rho=2.63\text{g}/\text{cm}^3$)
粗骨材	志摩産碎石:硬質砂岩, $\phi_a=13\text{mm}$ ($\rho=2.68\text{g}/\text{cm}^3$)
混和剤	AE減水剤, AE剤

表 4-3 調査表

調査	W/C (%)	設計値				単位量(kg/m^3)				添加率(%)	
		Fc* (MPa)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	W	C	S	G	AE減/C	AE/C
①	55	33.6	15	4.5	43	170	309	788	1038	1.8	0.7
②	55	33.6	5	4.5	43	170	309	788	1038	0	4.0

[註]*Fcは原子力研究委員会の中間報告書のデータを参考にした。

4.2.3 実験方法および測定項目

(1) 試験体概要

(a) 試験体サイズおよび型枠概要

図4-1に試験体概要を示す。実験Ⅳで用いる試験体は450（幅）×500（高さ）×300（厚さ）mmおよび450（幅）×1000（高さ）×300（厚さ）mmの無筋コンクリートとし、透水面は一面のみとした。せき板には、高さ500mmの試験体は木合板を使用し、高さ1000mmの試験体は鋼製型枠を使用した。また、せき板同士の隙間から漏水を防止するためにシリコン樹脂で止水を行った。

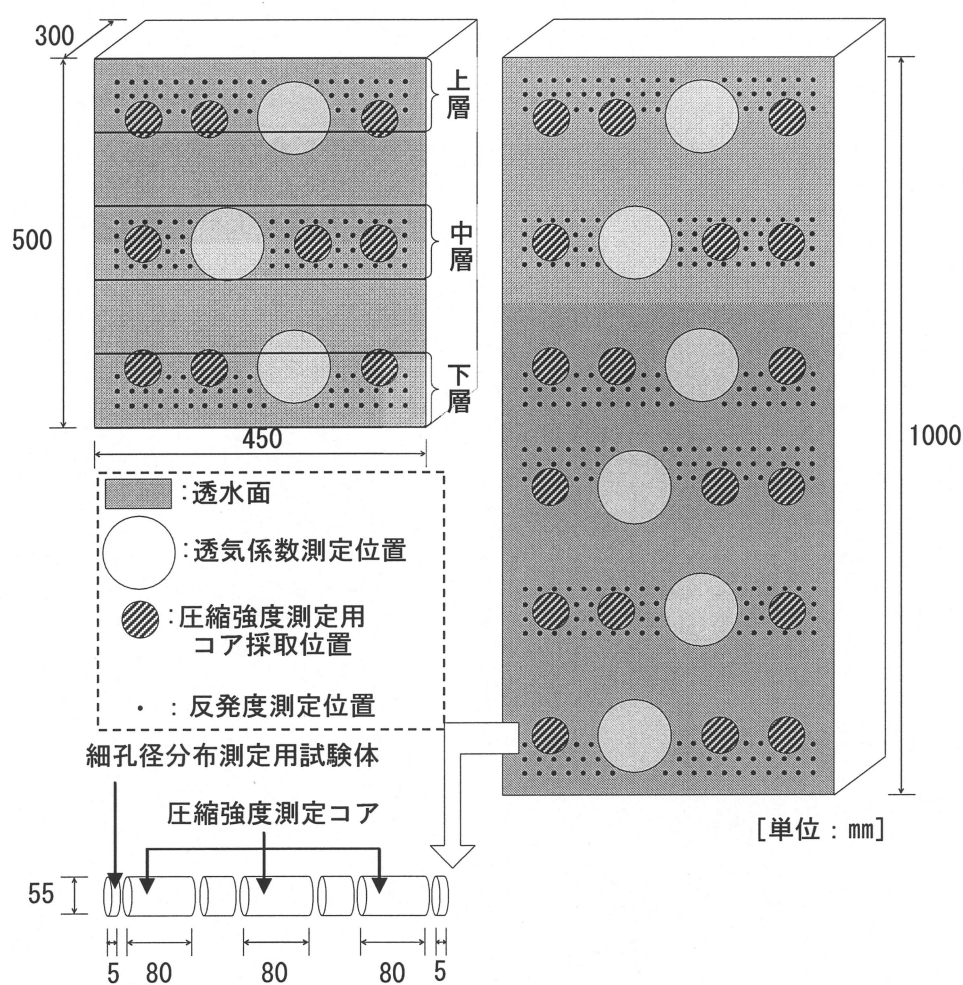


図 4-1 実験Ⅳ試験体概要

(b) 試験体作成の様子

写真 4-1 に試験体作成の様子を示す。型枠に離型剤を塗布し、高さ 500 mmの試験体は 2 層、高さ 1000mm の試験体は 4 層に分けて、コンクリートの打設を行った。締固めには棒状バイブレータを用いて、SL15 cmの試験体では各層 25 秒間、SL5 cmの試験体では各層 40 秒間行った。その後、試料上面を金ゴテにて仕上げを行った。脱型は材齢 3 日で行い、その後、実験室内において気中養生を行った。シート貼付養生を行った試験体の透水シートは材齢 10 日に撤去し、その後は他の試験体と同じく気中養生とした。

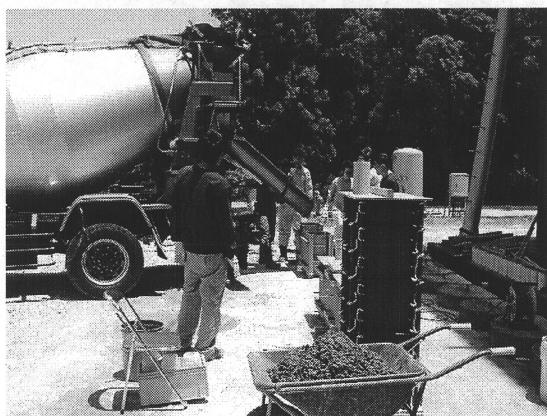
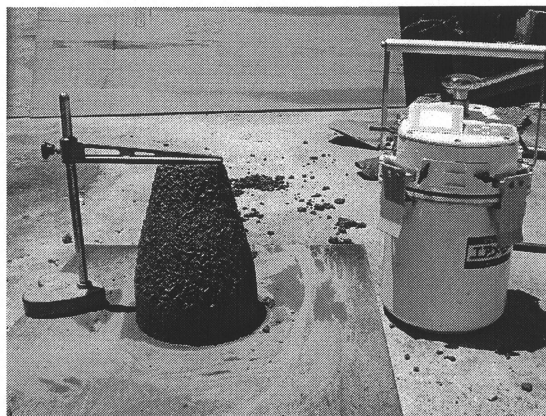
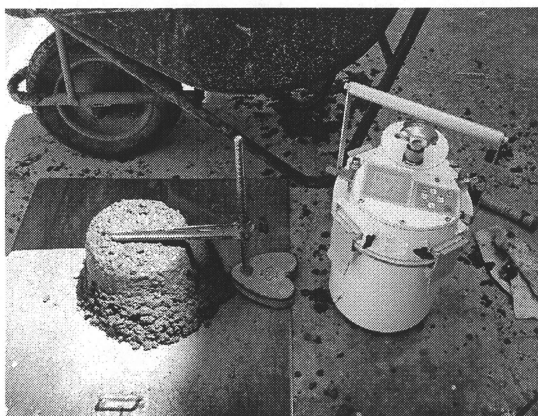


写真 4-1 試験体作成の様子

(2) 測定項目

(a) 雰囲気

日付、天気を記録し、温度および湿度の測定を行った。

(b) フレッシュ性状

フレッシュ性状として、スランプ、空気量、コンクリート温度の測定を行った。また、圧縮試験用に $\phi 100 \times 200$ mmの円柱試験体を 24 体作製した。

(c) 排水量

透水性型枠工法の排水量は、透水シートから排出された水をバットに採取し、測定時間毎に排水を集水容器に移し、秤にのせて測定を行った。

(d) ブリーディング量

各試験体のブリーディング量は、スポイトを用いてブリーディング水を採取し、測定時間毎にブリーディング水を集水容器に移し、秤にのせて測定を行った。

(e) 反発度

反発度の測定は、P型テストハンマ（写真 4-2）を用いて行い、各層、各材齢において 14 点ないし 16 点で測定した。その際、測定点が各材齢で分散するように留意した。測定箇所は、処理面（透水面：A 面）と処理面の反対側の面（合板面：B 面）の両面で、試験体の上、中、下層である。（図 4-1 参照）また、高さ 1000 mmの試験体では上、中、下、IV層、V層、VI層の 6 箇所で測定した。なお、測定材齢は 7、14、28 日である。

(f) 表層部付近の含水率

表層付近の含水率（カタログ値では表面から深さ 4 cm付近）の測定は、高周波式コンクリート・モルタル水分計（写真 4-3）を用いて行った。測定箇所は、図 4-1 に示す圧縮強度測定用コア採取位置と透気係数測定位置上で、処理面（透水面：A 面）と処理面の反対側の面（合板面：B 面）の両面で、試験体の上、中、下層である。また、高さ 1000 mmの試験体では上、中、下、IV層、V層、VI層の 6 箇所で測定した。なお、測定材齢は 7、14、28 日である。

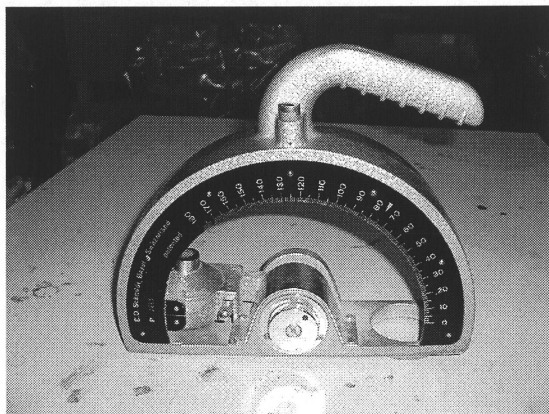


写真 4-2 P型テストハンマ



写真 4-3 高周波式水分計

(g) 透気係数

透気係数の測定は、トレント法（写真 4-4）を用いて測定した。測定箇所は、処理面（透水面：A 面）と処理面の反対側の面（合板面：B 面）の両面で、試験体の上，中，下層である。また、高さ 1000 mm の試験体では上，中，下，IV 層，V 層，VI 層の 6 箇所まで測定した。

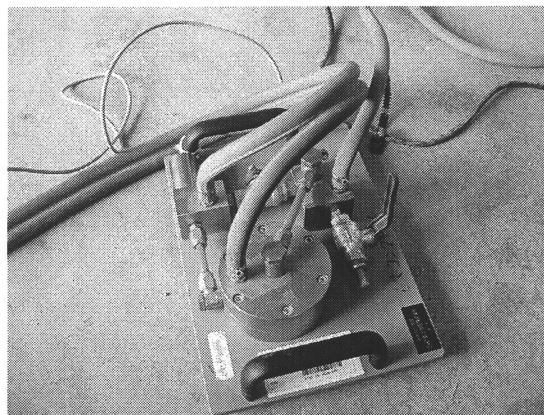
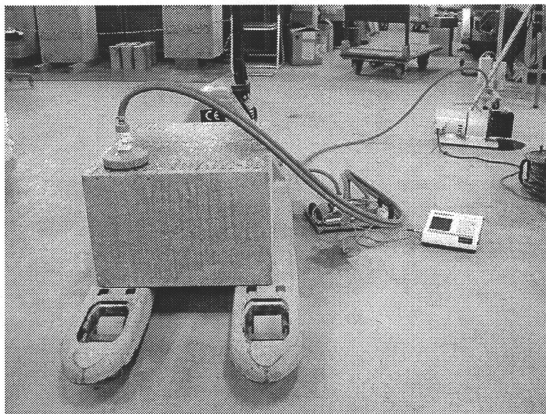


写真 4-4 トレント法による透気係数測定装置

(h) 圧縮強度

写真 4-5 にコア試験体の作製および圧縮試験の様子を示す。試験体からコア試験体を採取し、それを整形して、圧縮強度測定用の試験体とした。コア試験体は、反発度、含水率、透気係数測定後の材齢 30 日から材齢 31 日の間に、コアドリルで $\phi 55 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ のものを上，中，下層から 3 本ずつ採取した。その後、表層 5 mm をカットし、高さ 80 mm の試験体を A 面側，中央部，B 面側からを採取した。なお、測定材齢は 35 日である。

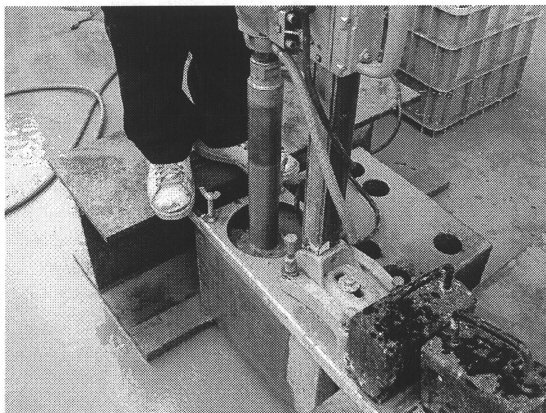


写真 4-5-1 コアドリルによる試験体採取

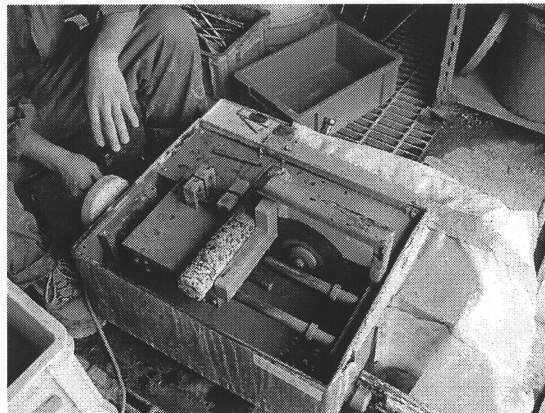


写真 4-5-2 コンクリートカッターによる試験体成形

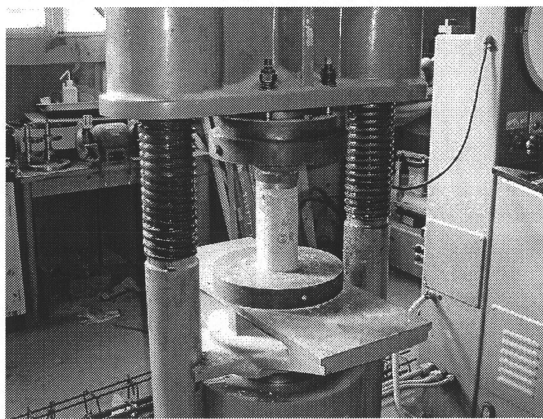


写真 4-5-3 圧縮強度試験の様子

(i) 細孔構造

細孔構造測定用試験体の作成の様子を写真 4-6 に示す。細孔構造の測定の様子を写真 4-7 に示す。細孔構造は、水銀圧入式ポロシメータを使用して測定した。細孔構造測定用試験体は、圧縮強度測定用コア試験体と同時に作製し、72 時間真空乾燥を行った後に測定を行った。

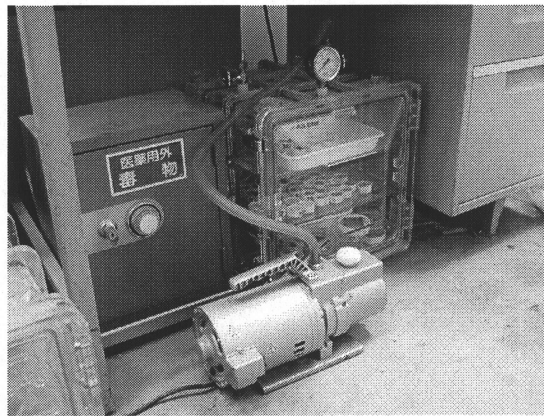
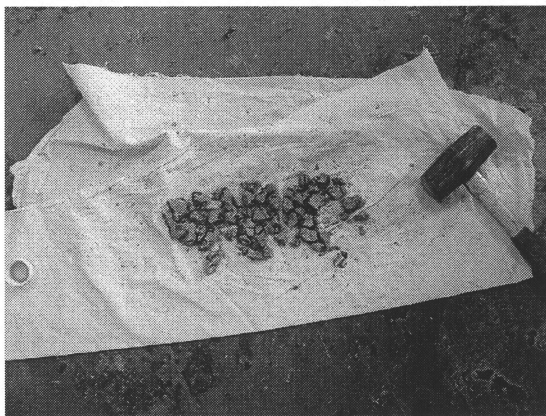


写真 4-6 細孔構造測定用試験体の作成の様子

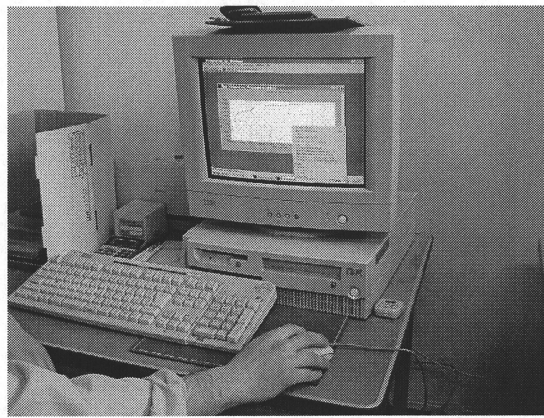
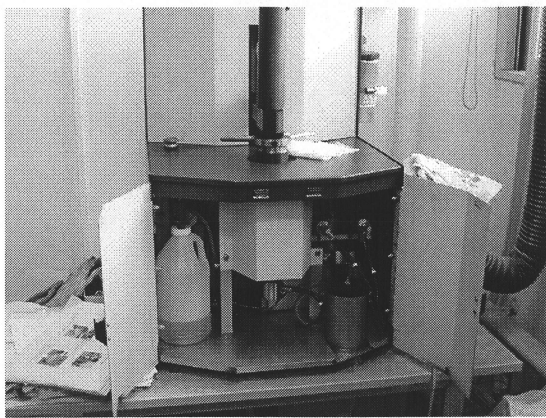


写真 4-7 細孔構造測定の様子

(j) 促進中性化深さ

促進中性化試験体の作成方法を示す。材齢 42 日においてコアドリルで $\phi 100 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ のコアを試験体から採取し、透水面および合板面から表層 7.5 cm の位置で切断した。その後 7 週間静置した後、表層面のみ残して側面と底面（コンクリート内側）にエポキシ系樹脂でシーリングを施し、十分に乾燥させたものを促進中性化試験体とした。

促進中性化試験は、温度 20℃、湿度 60%、二酸化炭素濃度 5% の促進中性化槽にて 11 週間行った。その後コンクリートカッターを用いて試験体を切断し、フェノールフタレイン 1% エタノール溶液を吹きかけて中性化深さを測定した。

4.2.4 実験結果および考察

(1) 雰囲気およびフレッシュ性状

表 4-4 に実験時の雰囲気、フレッシュコンクリートのスランプ、空気量、およびコンクリート温度を示す。スランプ、および空気量とも概ね設計通りのコンクリートが得られている。

表 4-4 雰囲気およびフレッシュ性状

打設日	試験体名	調合	気温 (℃)	湿度 (%)	実測スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)
2009 6/7	透水気中SL15H50	①	24	65	16.5	4.8	24
	合板気中SL15H50						
	透水シートSL15H50						
	透水気中SL15H100						
	透水気中SL5H50	②			4.5	4.1	
	合板気中SL5H50						

(2) 透水量およびブリーディング量

透水量を図 4-2 に、透水量の時刻歴を図 4-3 に示す。スランプ 15 cm とスランプ 5 cm の透水量を比較するとスランプ 5 cm の方が少なくなっている。これは、低スランプのコンクリートは試料が自立するので側圧が小さくなり、そのためコンクリート中の間隙水圧が上がらず、排水が促進されなかった為と考えられる。また、試験体高さが 50 cm と 100 cm の試験体を比較すると、試験体高さ 100 cm の試験体は 50 cm の試験体の 7.4 倍の透水量があった。これは上の試料の重さによる圧密で、下部試料において排水が促進されたためと考えられる。また各試験体の透水量の時刻歴を見ると、圧密が大きくかかっている試験体ほど排水が長く続くことが示唆された。

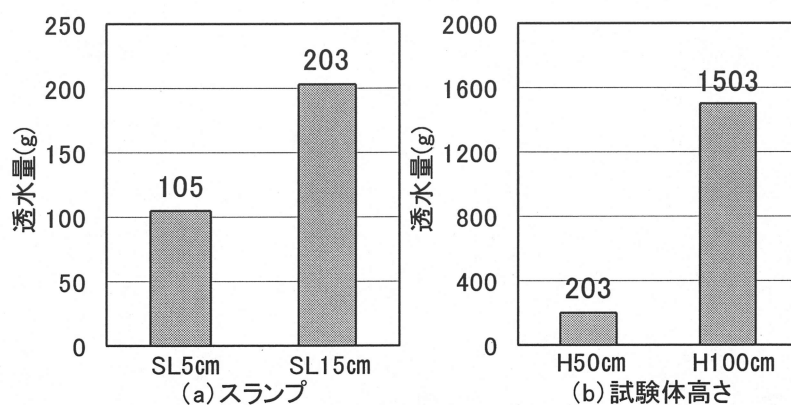


図 4-2 スランプと試験体高さの違いによる透水量の違い

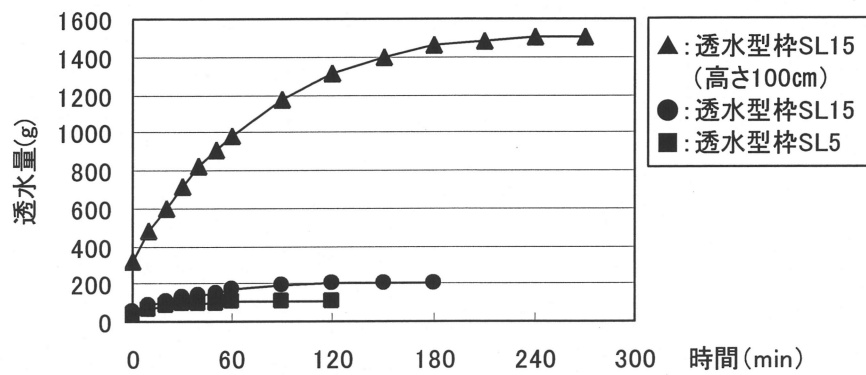


図 4-3 各要因の透水量の時刻歴

図 4.4 に JIS ブリーディング試験および各試験体のブリーディング量の結果を示す。図 4.5 に JIS ブリーディング試験および各試験体のブリーディングの時刻歴を示す。型砕の違いによるブリーディング量を比較すると、透水型砕を用いた試験体はブリーディング量が少なくなっている。これは透水シート近傍のブリーディングは透水量として排水されるためと考えられる。また透水型砕を使用すると、早期にブリーディングが収束することが確認できる。

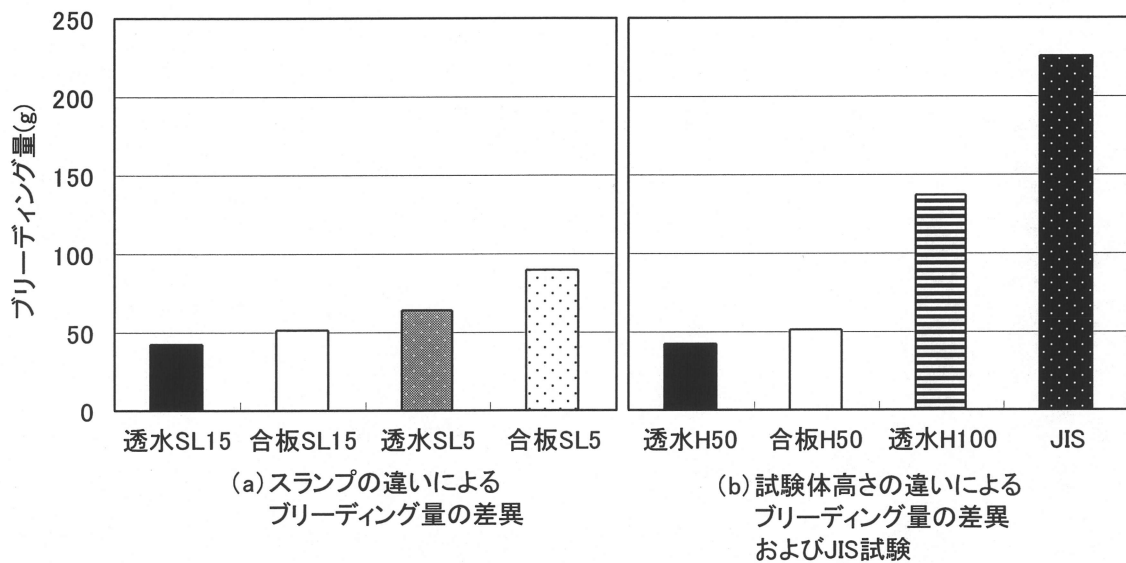


図 4-4 各試験体のブリーディング量

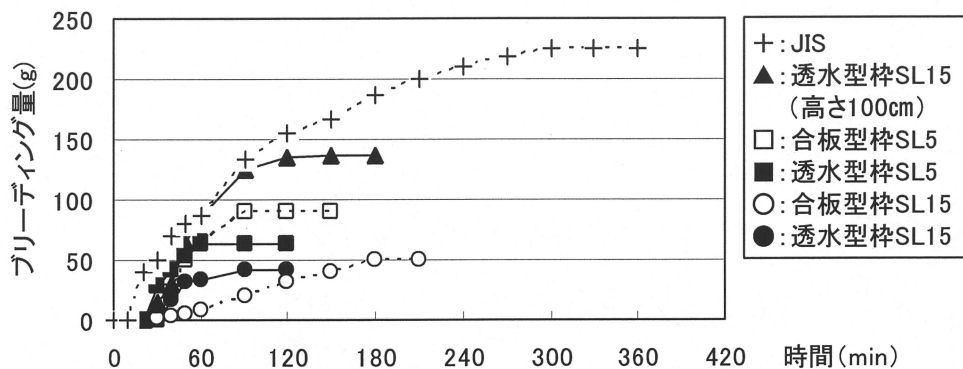


図 4-5 各試験体のブリーディングの時刻歴

(3) 反発度による推定圧縮強度

図 4-6 に各材齢における反発度から、式 (4.1) [45] を用いて推定した圧縮強度を示す。シート養生は材齢 10 日まで行ったため、材齢 7 日におけるシート養生の推定圧縮強度は無い。また比較しやすいようにスランブ 15 cm の測定結果を上段に、スランブ 5 cm の測定結果を下段に示している。

$$F_c = (6.44R - 112.5) \times 9.8 \quad (\text{式 4.1})$$

ここに、 F_c : 圧縮強度 (N/mm^2)、 R : 反発度 (P 型ハンマ、水平面を打撃)

これによると、透水シートを使用するとほぼ全ての試験体および材齢において反発度は改善されたが、上層ほど改善効果は小さく、また、透水シートを用いた方が高さ方向の推定強度の差が大きくなっていることがわかる。これは既往の研究 [46] と同様の傾向である。

シート貼付け養生における推定圧縮強度は、材齢 14 日および材齢 28 日の中層部においてシート養生が大きな値となっており、表層部の改善効果が見られる。上下層で効果が低くなっているのは、周囲からの乾燥の影響により含水率が低下したためと考えられる。

SL5 cm の推定圧縮強度の結果からは、期待したような高さ方向の品質分布の低減効果は得られていないことが分かる。

また高さ 50 cm および高さ 100 cm の試験体の比較からは、概ね 50 cm の試験体で 100 cm の試験体の上部 50 cm を再現できていると見ることができる。

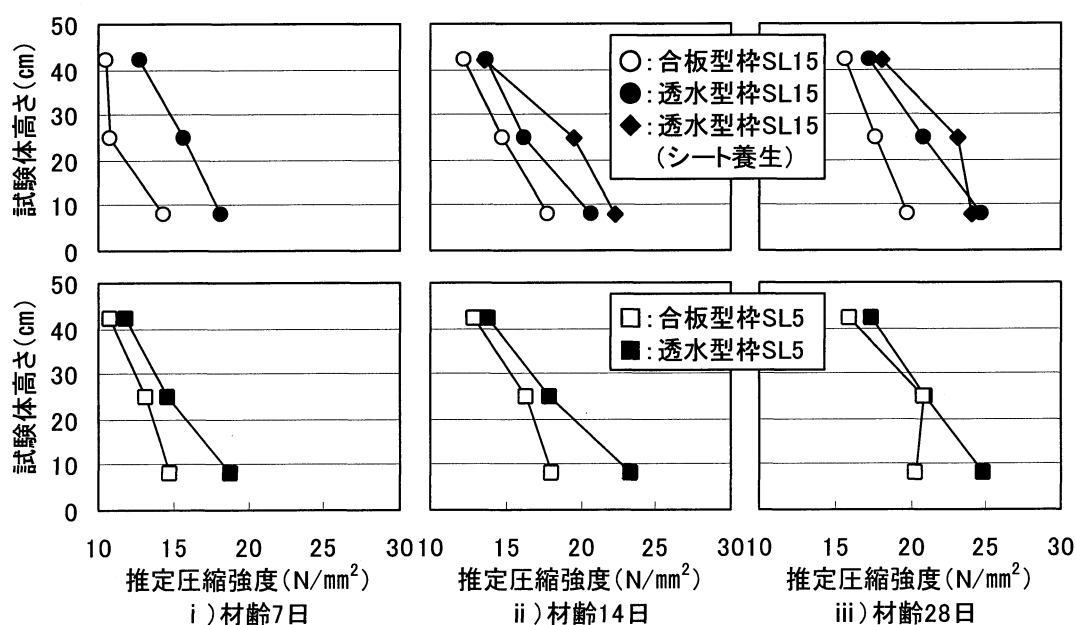


図 4-6-1 高さ 50 cm の試験体の各材齢における推定圧縮強度

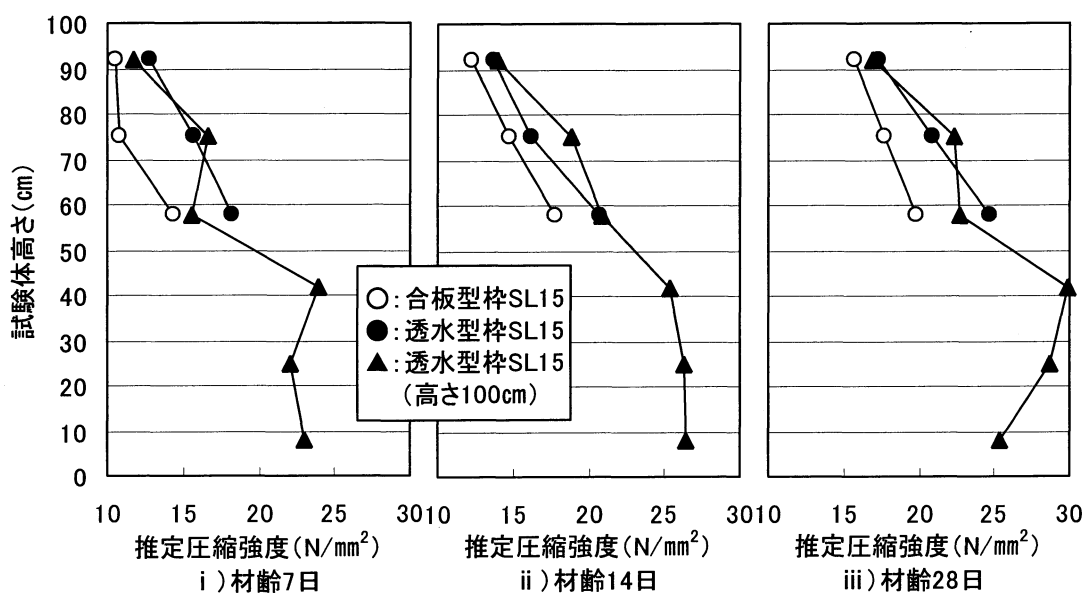


図 4-6-2 高さ 100 cm の試験体の各材齢における推定圧縮強度

(4) 表層含水率

各種要因と各材齢における表面水率を図 4-7 に示す。ここで、透水シートのみを材齢 10 日まで残した試験体については、材齢 7 日の時点では含水率が測定装置の許容値（含水率 12%）をオーバーしていたため、データを示していない。

図 4-7-1 には、試験体高さ 50 cm の試験体の各材齢の高さ方向の含水率の分布を示す。高さ方向の分布のみに注目すると、シート養生した試験体が、材齢 14 日の時点で、中層部が極端に大きな値となっている。これは、型枠脱型後の透水シートの貼り付けをコンクリートとの付着力のみで行い、周囲のシール等を行わなかったために周囲からの乾燥の影響を受けたものと考えられる。

図 4-7-2 には、試験体高さ 100 cm の試験体の各材齢の高さ方向の含水率の分布を示す。含水率においても、高さ 50 cm および高さ 100 cm の試験体の比較からは、概ね 50 cm の試験体で 100 cm の試験体の上部 50 cm を再現できていると見ることができる。

図 4-7-3 には、周囲からの乾燥の影響が少ないと考えられる試験体中層部の含水率と材齢の関係を示す。これによると材齢によらず、透水型枠を用いた方が合板型枠と比べて含水率は高くなっている。また、シート養生した試験体では、材齢 14 日に他の試験体と比較してかなり高い含水率となっている。以上の結果からは、透水シートを貼り付けたままで養生することにより、コンクリート内部の乾燥防止効果が期待できることがわかる。

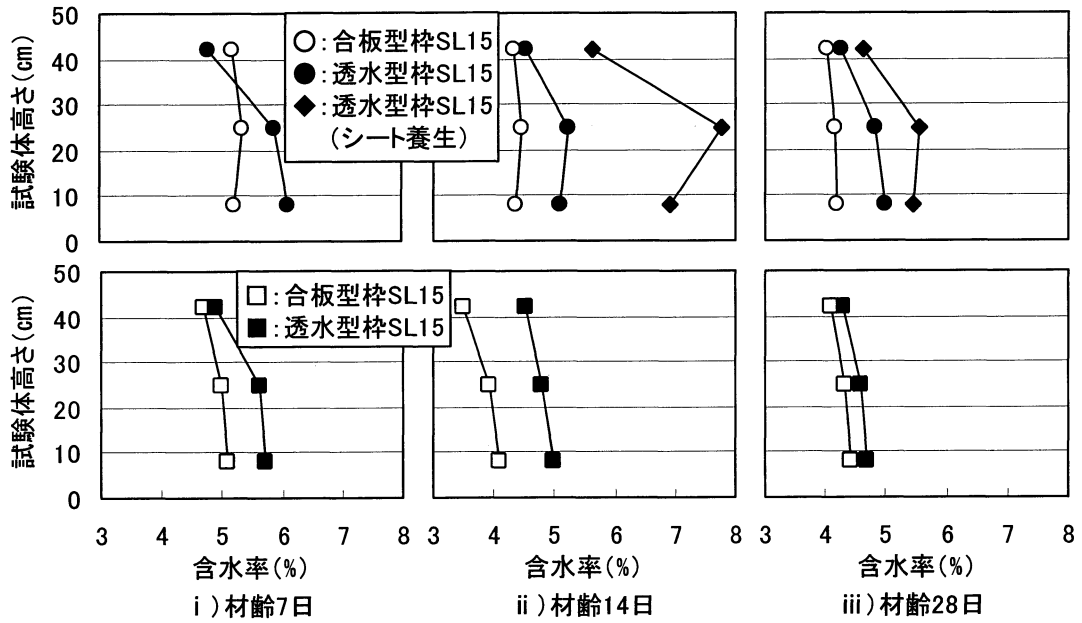


図 4-7-1 高さ 50 cm の試験体の各材齢における含水率

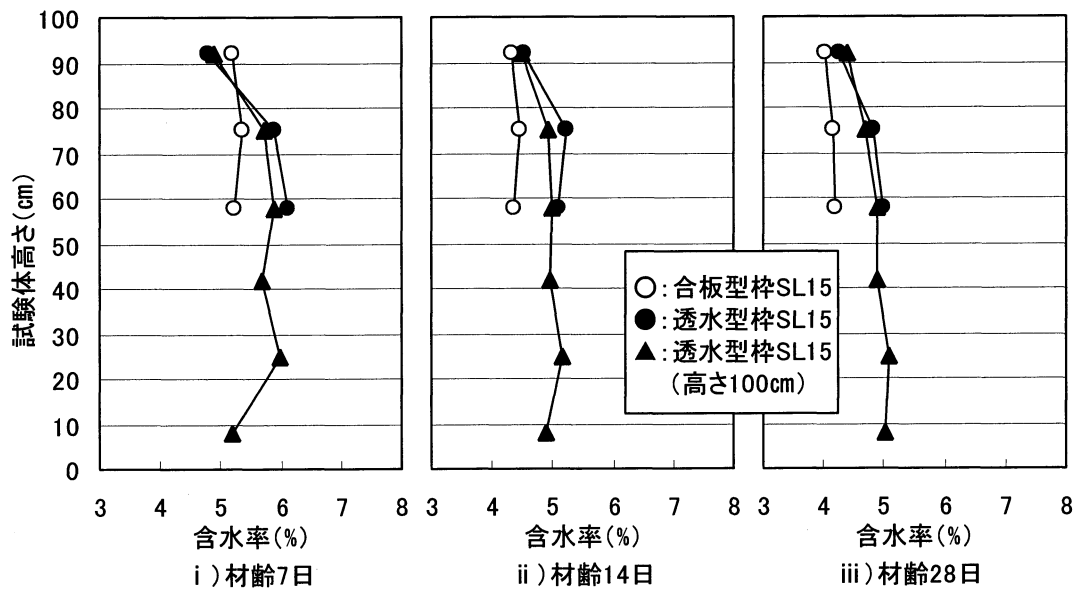


図 4-7-2 高さ 100 cm の試験体の各材齢における含水率

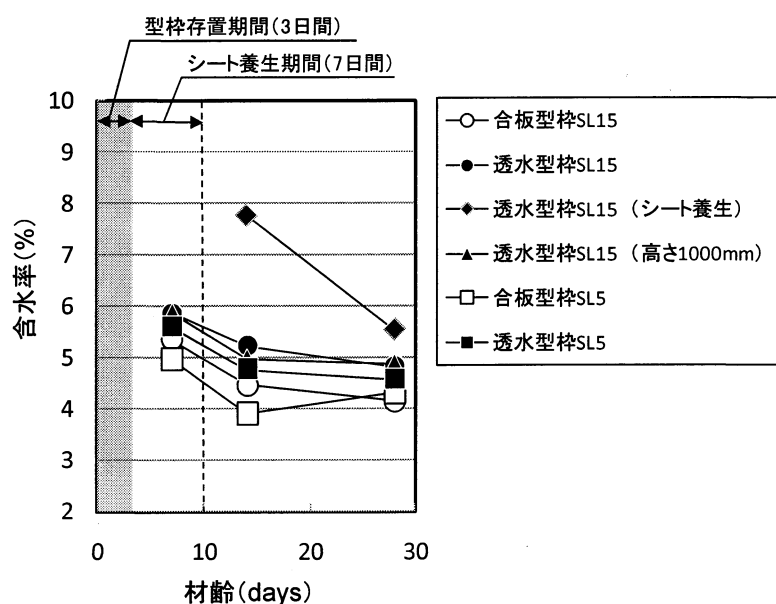


図 4-7-3 中層部における含水率と材齢の関係

(5) 透気係数

材齢 28 日における透気係数の測定結果を図 4-8 に示す。試験体の下層部において透気係数が低くなっているが、全体的に他の文献による報告値 [47] と比べて本試験結果の値は極端に大きい。この原因としては、セメントに中庸熱セメントを用いたにもかかわらず、材齢 3 日で脱型し、気中養生としたためと考えられる。よって、高耐久なコンクリートを作るためには、封かん養生期間の延長や、湿潤養生期間を設けるなどの対処が必要と考えられる。

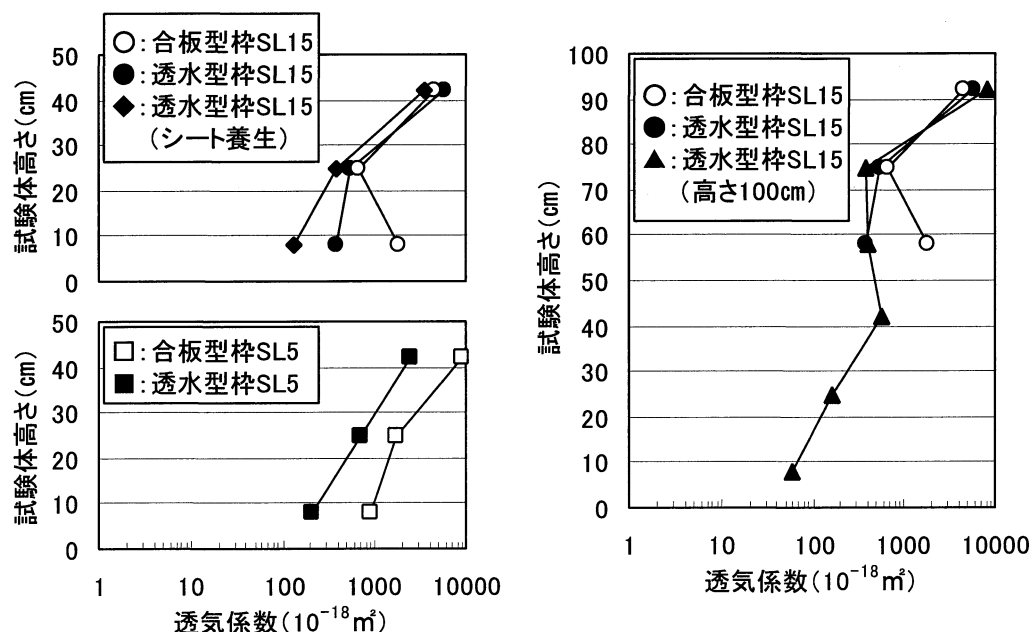


図 4-8 材齢 28 日における各試験体の試験体高さごとの透気係数

(6) コア試験体の圧縮強度

材齢 35 日における各試験体の奥行き方向のコア圧縮強度を図 4-9 に示す。また、材齢 35 日における各試験体の透水面側 (A 面) の高さ方向のコア圧縮強度を図 4-10 に示す。図 4-9 によると、どの試験体も奥行き方向で強度が入れ替わっており、透水シートの効果が試験体中心部に及んでいないことが判る。また、図 4-10 によると、SL15 cm の各試験体と比較しても目立った差は見られず、透水シートの効果は試験体中心部に及んでいない。

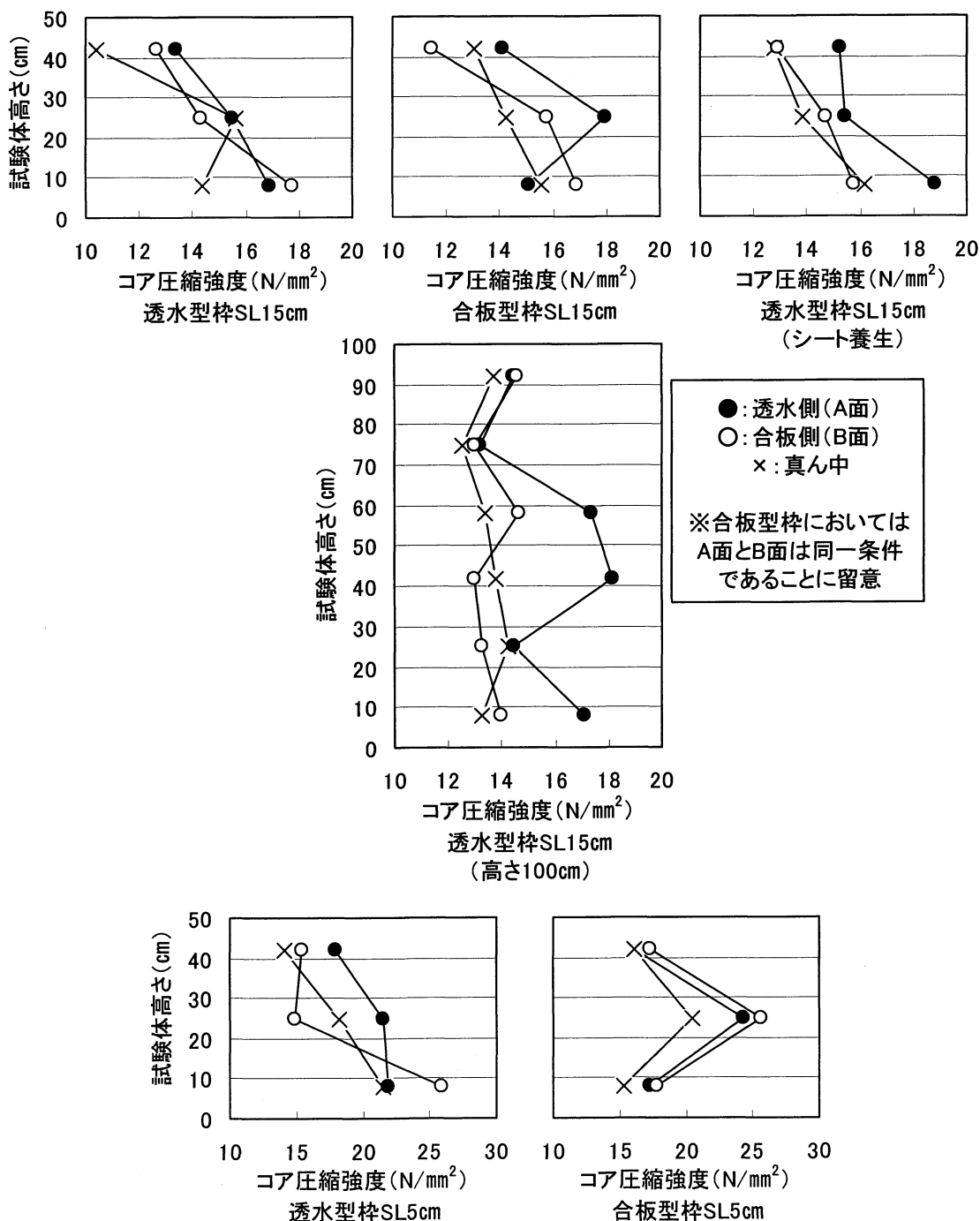


図 4-9 材齢 35 日における各試験体の奥行き方向のコア圧縮強度

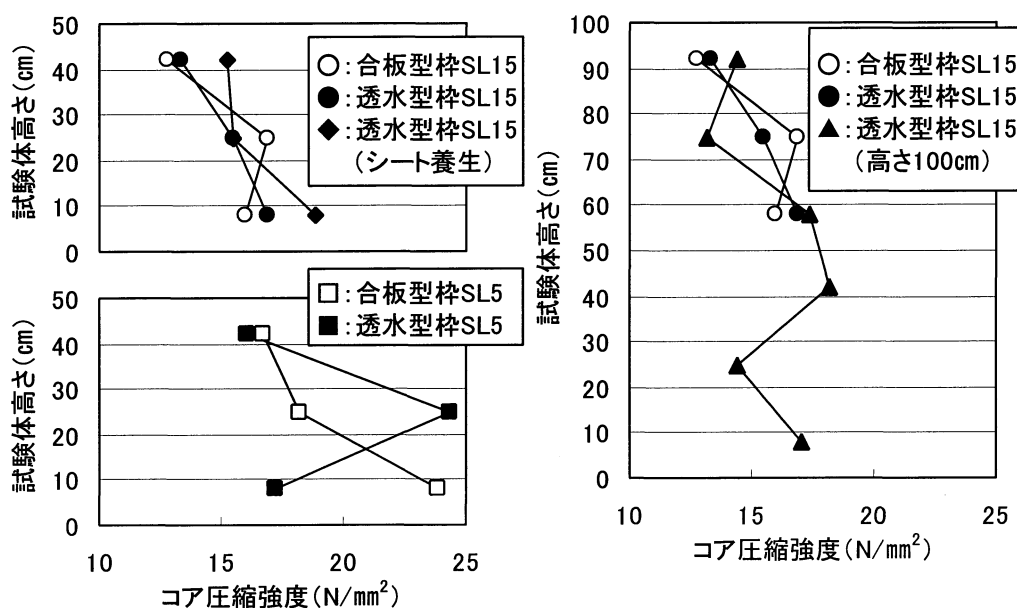


図 4-10 材齢 35 日における各試験体の透水面側 (A 面) のコア圧縮強度比較

(7) 細孔構造

各試験体における試験体高さごとの総細孔量を図 4-11 に示す。これによると、透水シートを用いることによって細孔量は減少しているものの、シート養生の効果は明確には見られない。

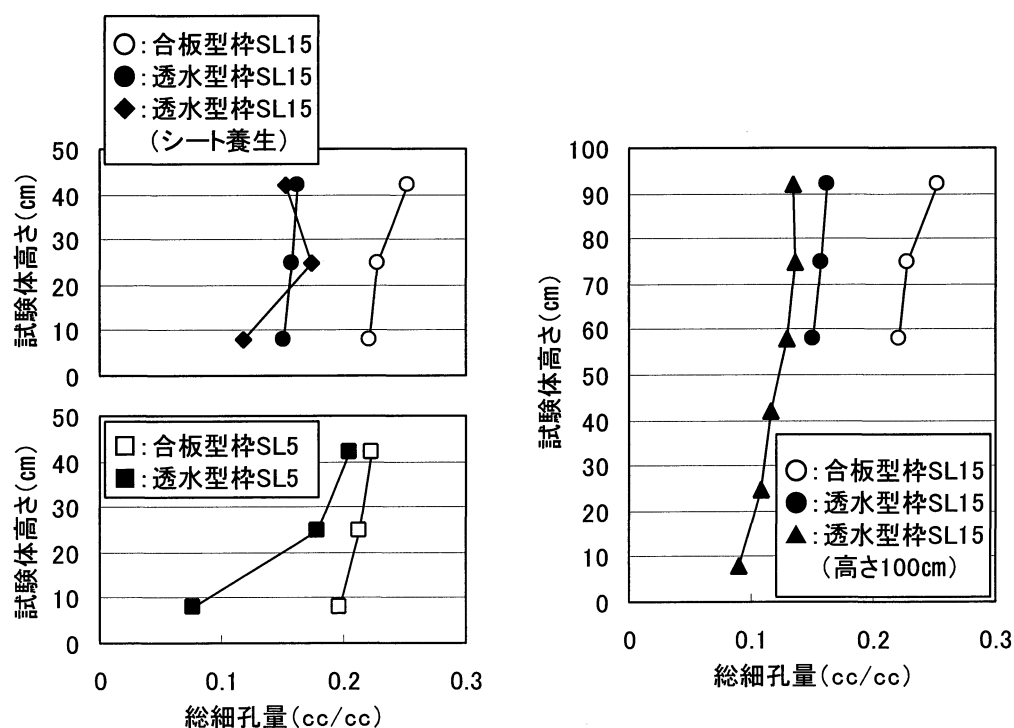


図 4-11 各試験体における試験体高さごとの総細孔量

高さ 50 cmの試験体の上層，中層，下層の総細孔量平均値およびその粒径分布を図 4-12 に示す。これによると，透水型枠を使用すると気泡 (Air void) および大きな毛管空隙 (Large Capillaries) が減少しているのがわかる。シート養生を行うと総細孔量は微量ながら減少しているが，その効果は限定的である。

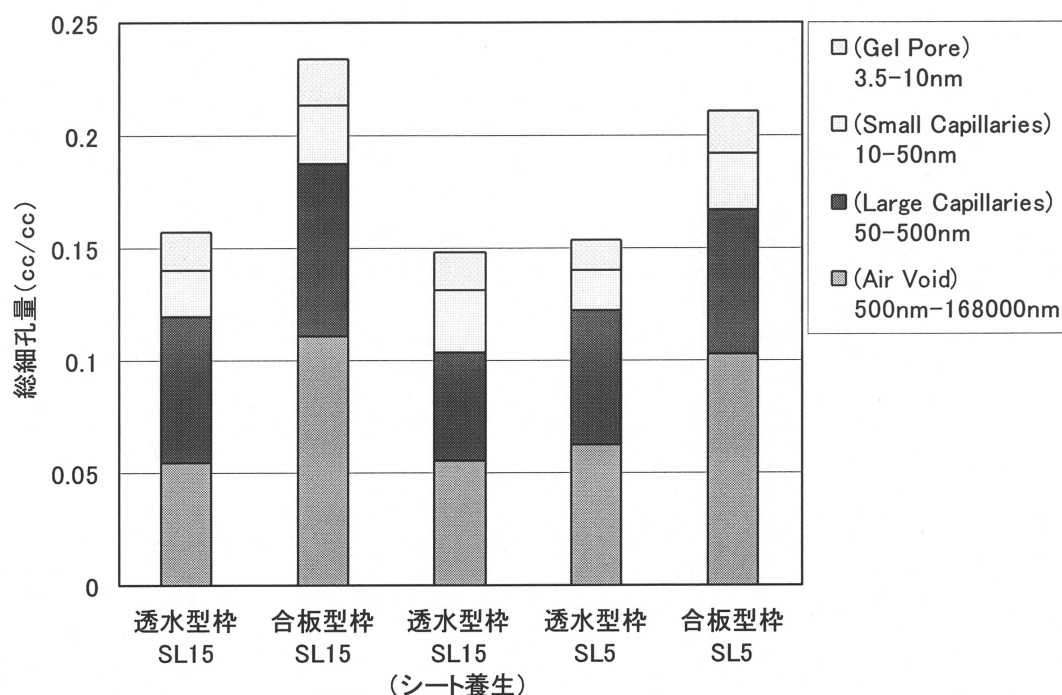


図 4-12 高さ 50 cmの試験体の上層，中層，下層の総細孔量平均値
およびその粒径分布

(8) 中性化深さ

促進中性化養生を 11 週行った後の，各試験体における試験体高さごとの中性化深さを図 4-13 に示す。中性化深さの測定結果では，透水シート使用時と未使用時の差が顕著であり，透水型枠の使用により，下層ほど中性化深さが顕著に浅くなることが確認できる。高さ 100 cmの試験体では，試験体高さ 400mm 以下の範囲ではほぼ中性化が止まっている。促進中性化試験の結果からは，シート養生の効果は明確には見られなかった。スランプ 5 cmの透水型枠を使用した試験体は，中層および下層部で中性化抵抗性が改善されているが，上層部まではその効果は及んでいない。

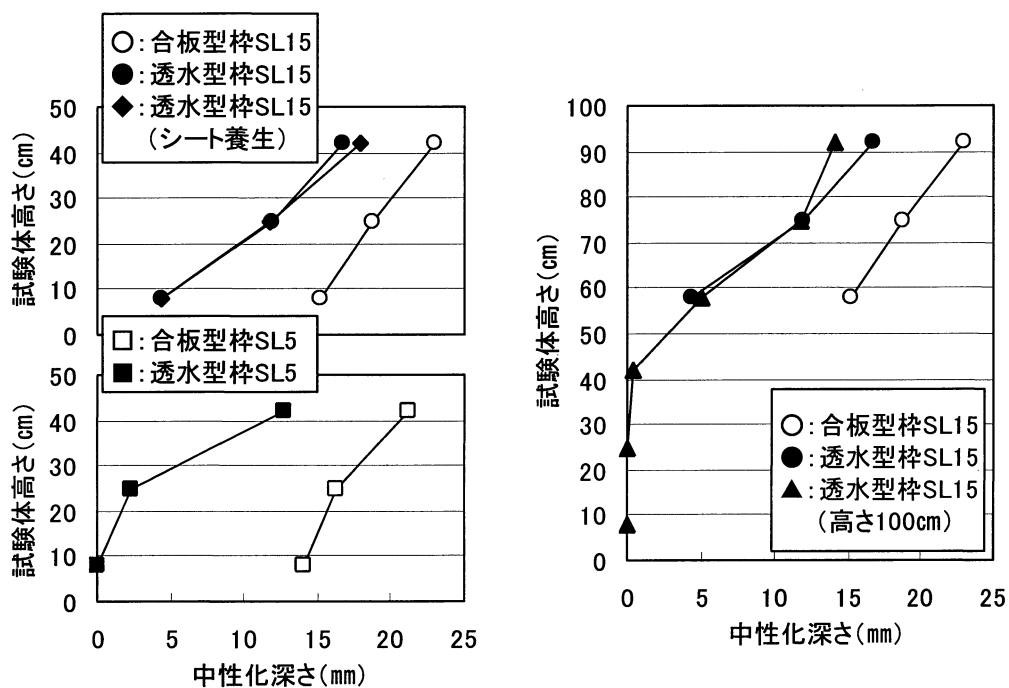


図 4-13 各試験体における試験体高さごとの中性化深さ

(9) 各測定項目の相関と既往の論文との比較

図 4-14 に、総細孔量、促進中性化深さおよび透気係数の関係を示す。それぞれ正の相関は見られるものの、既往の研究 [48] と比較すると、バラツキが大きくなっている。

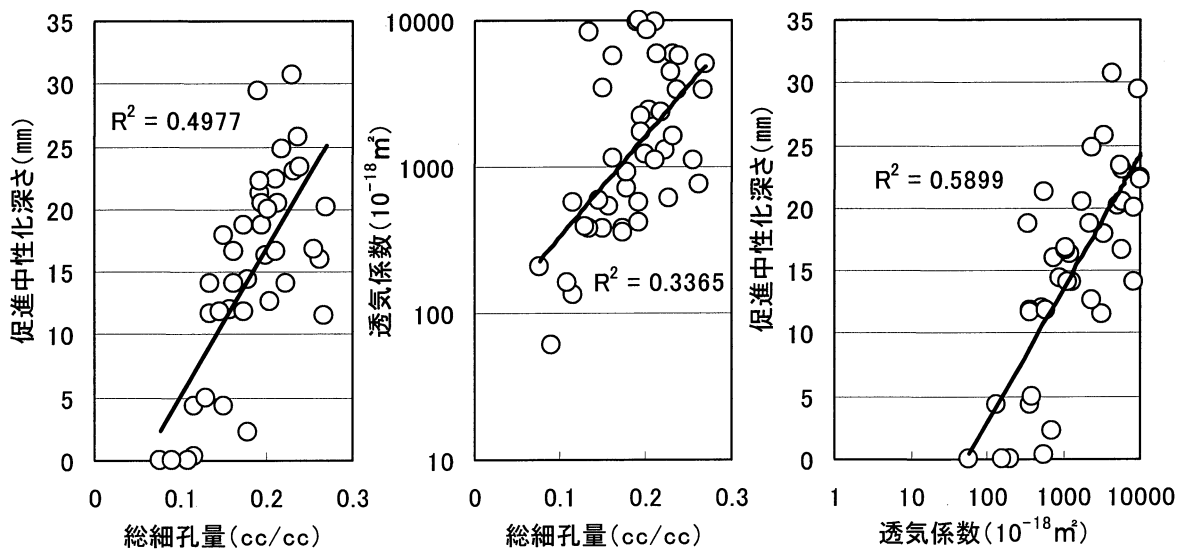


図 4-14 総細孔量、促進中性化深さおよび透気係数の関係

4.2.5 実験Ⅳまとめ

本章二節では、透水シートを養生シートとして併用し、養生条件の向上によってコンクリートの品質を改善させる方法と、固練りコンクリートを用いることによって、コンクリート中の間隙水圧分布を小さくし、内部振動機による動的圧力を試験体に均等にかけることによって均質なコンクリートを得る方法を検討した。本実験で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 本実験結果より、透水シートをコンクリート表面に残留させることによる乾燥防止効果が認められる。また、その効果によって反発度や細孔構造、透気係数などが改善された。しかし、その効果は今のところ限定的であり、より保水性能を高めるなど、改善の余地がある。
- 2) 固練りのコンクリートを用いることによる高さ方向の表面強度分布の低減については、期待したほどの効果が得られなかった。
- 3) 養生条件で最も優れているのは水中養生であり、透水シートの効果を議論するに当たって、本実験で作成した試験体が水中養生時にどれほどのポテンシャルを発揮するかを確認する必要がある。その結果を受けて、水中養生時のコンクリート性能に可能な限り近づける手法を提案する必要がある。

4.3 水中養生時のポテンシャル確認実験（実験Ⅴ）

4.3.1 実験概要

実験Ⅳにおいて透水シートを養生シートとして利用することの有効性が確認できた。そこで本章三節では、二節で使用した使用した試験体と同様のものを作成し、水中養生時のポテンシャルを確認することによって、性能改善の余地を把握した。

4.3.2 実験の要因水準および調査表

(1) 実験要因

表 4-5 に実験要因を示す。実験Ⅴの要因は養生条件のみであるが、実験Ⅳとの比較のため基本水準を付記している。また、表 4-6 に水中養生を行った試験体の養生条件の経過を示す。表 4-6 において、気中養生状態とした理由は、試験体が濡れていると反発度が低く出るので、反発度補正を省略することを意図したためである。

表 4-5 実験要因および水準

要因	水準
型枠の種類	透水型枠
初期養生方法	気中養生 ^{*1} , 水中養生
スランプ ^{p*3}	15cm
試験体高さ	500mm

[注]__:基本水準

*1:材齢3日で脱型後実験室内にて気中養生。

表 4-6 水中養生試験体の材齢 28 日までの養生状態

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	
材齢1週目	△	△	○	○	○	○	○	○:水中養生状態 △:封緘養生状態 ×:気中養生状態
材齢2週目	○	○	○	○	○	×	×	
材齢3週目	○	○	○	○	○	○	○	
材齢4週目	○	○	○	○	○	×	×	

(2) 使用材料および調査

表 4-7 および表 4-8 に使用材料および調査表を示す。実験Ⅳ同様に、中庸熱ポルトランドセメントを使用した。

表 4-7 使用材料

使用材料	特性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント($\rho=3.21\text{g/cm}^3$)
細骨材	町屋川産川砂:硬質砂岩($\rho=2.64\text{g/cm}^3$)
粗骨材	志摩産碎石:硬質砂岩, $\phi_a=13\text{mm}$ ($\rho=2.68\text{g/cm}^3$)
混和剤	高性能AE減水剤

表 4-8 調合表

調合	W/C	設計値				単位量 (kg/m ³)				添加率 (%)
		Fc*	SL	Air	s/a					
	(%)	(MPa)	(cm)	(%)	(%)	W	C	S	G	SP/C
③	55	33.6	15	4.5	43	170	309	796	1038	1.0

[註]*Fcは原子力研究委員会の中間報告書のデータを参考にした。

4.3.3 実験方法および測定項目

試験体概要および測定項目は、実験Ⅳと同様とした。しかし、中性化試験は、十分な促進中性化期間が確保できないため省略している。

4.3.4 実験結果および考察

(1) フレッシュ性状

表 4-9 に実験時の雰囲気、フレッシュコンクリートのスランプ、空気量、およびコンクリート温度を示す。

表 4-8 雰囲気およびフレッシュ性状

打設日	試験体名	調合	気温 (°C)	湿度 (%)	実測スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
2009 11/20	透水水中SL15H50	③	18.5	37	15.8	3.5	22.2
	透水気中SL15H50				16.5	4.8	22

(2) 透水量およびブリーディング量

脱水量を図 4-15 に、透水量およびブリーディングの時刻歴を図 4-16 に示す。透水量、ブリーディング量ともにほぼ同等と見なすことができる。

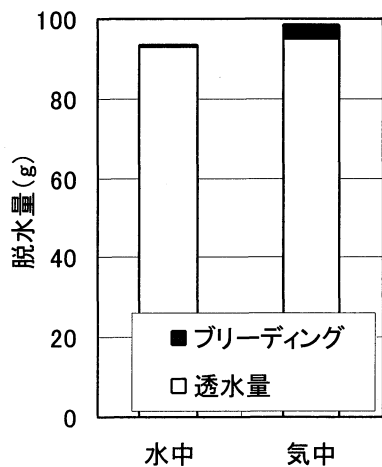


図 4-15 脱水量

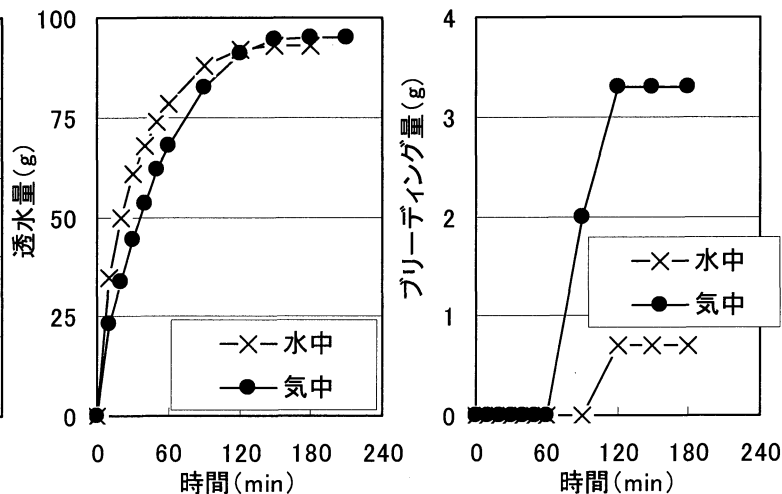


図 4-16 透水量およびブリーディング量の時刻歴

(3) 反発度による推定圧縮強度

図 4-17 に各材齢における反発度から推定した圧縮強度を示す。水で濡れた試験体は反発度が小さく出るので、実測の反発度に 5～10 の補正を加える必要がある[49]。今回の実験では 7.5 の補正を与えた。

これによると初期材齢では、養生方法によらずほぼ同程度の推定強度となっているが、材齢が長くなるにつれて推定強度差は大きくなり、材齢 28 日においては、 7N/mm^2 ほど水中養生の方が、推定強度が大きくなっている。

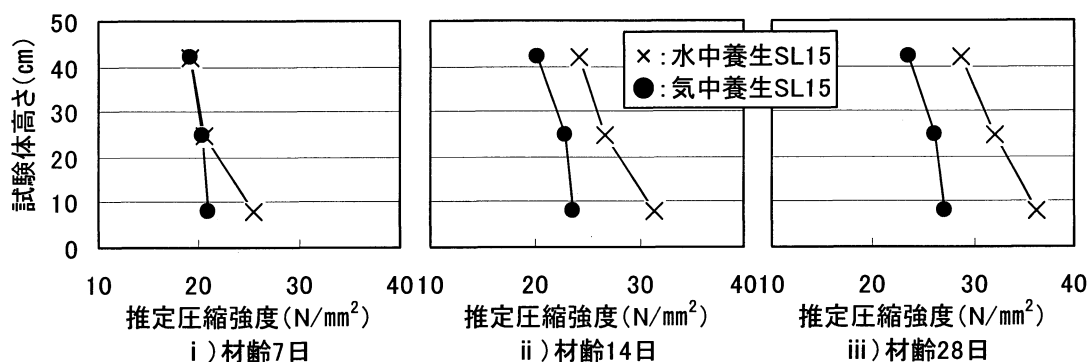


図 4-17 各材齢における推定圧縮強度

(4) 表層部付近の含水率

各材齢における表層部付近の含水率を図 4-18 に示す。ここで材齢 7 日における水中養生試験体の表面水率は、直前まで水中に試験体を設置していたので、測定不能であった。気中養生を行った試験体においては、表層部付近の含水率が、材齢が進むにつれて減少している。また、実験 V で得られた気中養生時の表面水率は、実験 IV の同一要因の試験体とほぼ同値であった。

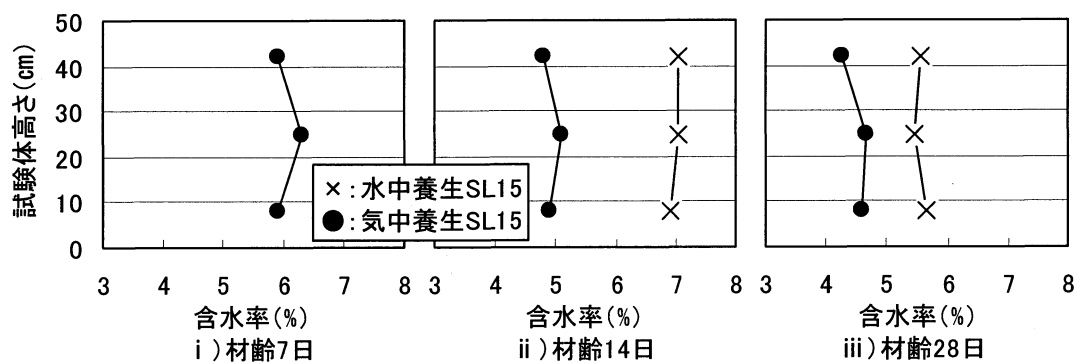


図 4-18 各材齢における表層部付近の含水率

(5) 透気係数

材齢 28 日における透気係数の測定結果を図 4-19 に示す。水中養生を行った試験体の透気係数は、気中養生を行った試験体の透気係数の 1/10 になっており、既往の研究[48]と比較しても、極めて良い測定値であった。この結果より、実験Ⅳで示したシート養生だけでは、コンクリートの持つポテンシャルに届いてないことが確認された。

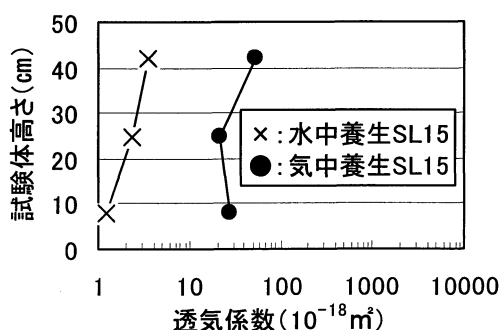


図 4-19 材齢 28 日における透気係数

(6) コア試験体の圧縮強度

材齢 35 日における各試験体の透水面側の高さ方向のコア圧縮強度分布を図 4-20 に示す。これによると、水中養生を行った試験体は各層において 6N/mm^2 から 9N/mm^2 の強度改善が見られた。

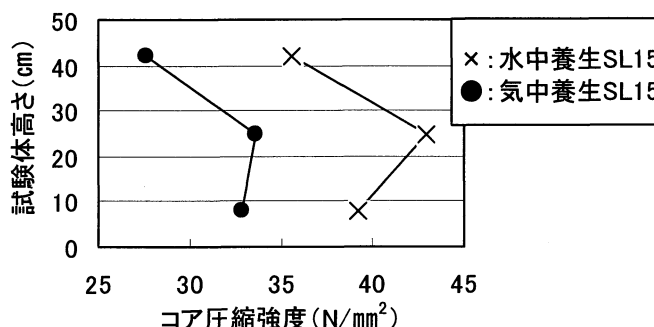


図 4-20 材齢 35 日における各試験体の透水面側のコア圧縮強度比較

(7) 細孔構造

各試験体における試験体高さごとの総細孔量と 50nm 以上の細孔量を図 4-21 に示す。これによると、水中養生と気中養生の総細孔量の差は明確には見られないが、50nm 以上の総細孔量は水中養生において減少していることがわかる。これにより、水中養生を行うと、大径空隙 (Air Void) や大きな毛管空隙 (Large Capillaries) がゲル空隙 (Gel Pore) や小さな毛管空隙 (Small Capillaries) に置き換わっていることが示唆される。畑中[50]らの研究によると、耐久性 (中性化速度) や圧縮強度は、50nm 以上の細孔量との相関が高いと述べているので、透気係数の改善は、大径空隙 (Air Void) や大きな毛管空隙 (Large Capillaries) の減少によるものと考えられる。

図 4-22 に各試験体の表層部（透水側および合板側）から採取したと、中央部から採取した試料の総細孔量およびその細孔径分布を示す。これによると、気中養生の中央部は、総細孔量におけるゲル空隙（Gel Pore）や小さな毛管空隙（Small Capillaries）の割合が水中養生と類似している。この測定結果から、気中養生の表層部分のコンクリートにおいては、内部自己水和と表面乾燥によって養生水が不足し、ポテンシャルを十分に発揮していない事が示された。

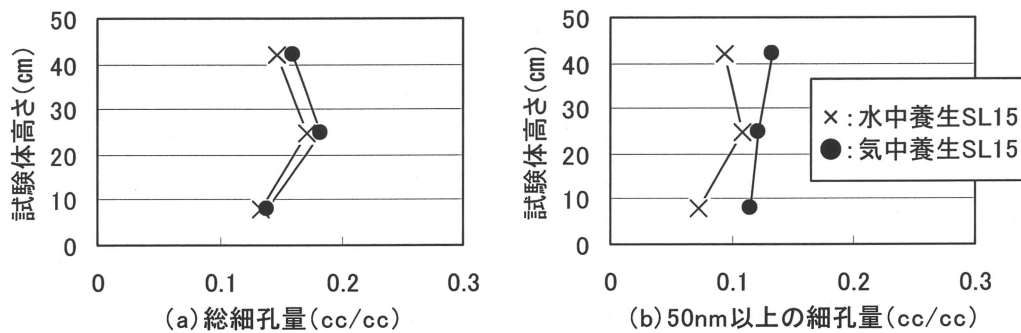


図 4-21 各試験体における試験体高さごとの細孔量

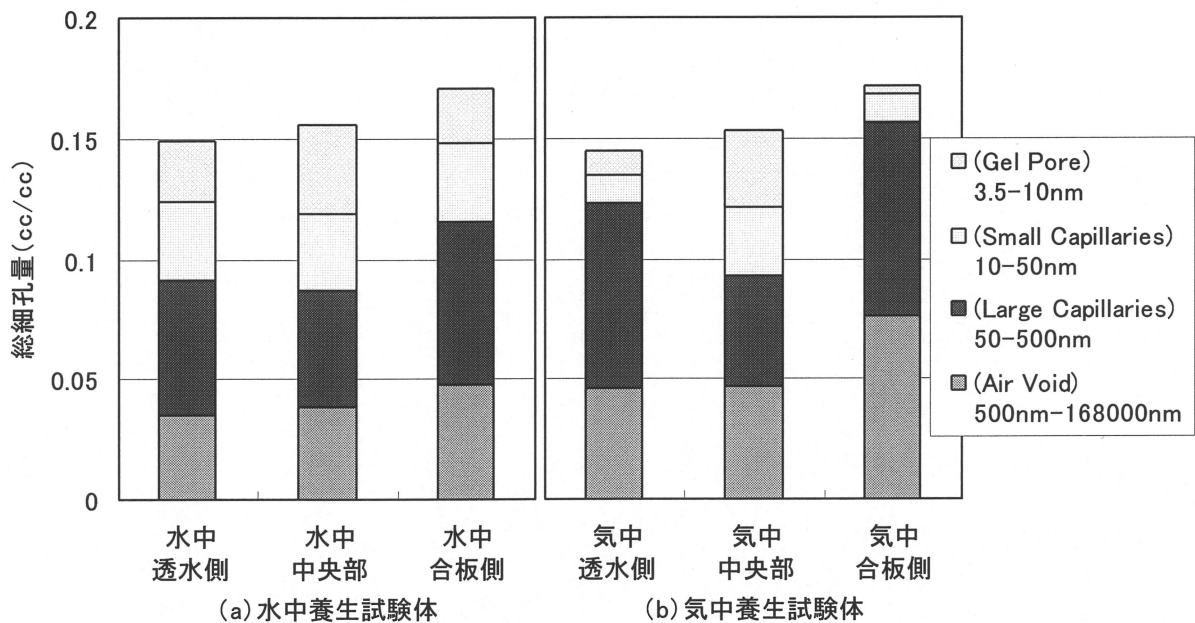


図 4-22 表層部分と中央部分の総細孔量と組成の比較

4.4 まとめ

本章では、透水シートを養生シートとして併用することによって品質改善効果を高める方法と、固練りのコンクリートを用いることによって間隙水圧分布を低減し、内部振動機を十分にかけることによって内部応力を上下層において一様に加えることによって均質なコンクリートを得ることを試みた。実験により得られた知見を以下に示す。

- 1) 透水シートをそのままコンクリート表面に残留させることによって、乾燥防止効果を得られることがわかった。
- 2) 固練りのコンクリートを用いることによって、均質なコンクリートを得るには至らなかった。
- 3) コンクリート構造体の表面は、表面乾燥および内部自己水和によって養生水が不足することにより、耐久性が十分に確保できていない可能性が示唆された。

第 5 章 結論および今後の課題

5.1 結論

5.2 今後の課題

第5章 結論および今後の課題

5.1 結論

本研究では、透水性型枠工法におけるコンクリート部材上層部の品質改善工法として、

- (1) 透水シートに発生する表面張力の低減することによって排水を促す
 - (2) 固練りコンクリートを用いて間隙水圧分布を小さくし、内部振動機にて十分に振動を加えることによって動的圧力をかけ、排水を促進させる
 - (3) 透水シートを養生シートとして併用し品質改善効果をさらに高める
- の三点を取り上げ、さらに安定した品質改善効果を得るための詳細な検討を行った。

以下に本研究で得られた知見を示す。

- 1) 本研究で取り組んだ方法によっては、高さ方向の強度分布を十分に改善するには至らなかった。
- 2) 透水シートをコンクリートに残留させたまま養生シートと利用することで、乾燥防止効果が得られる。
- 3) 水中養生による耐久性改善効果が示された。これにより、耐久性の向上を考える場合、初期の養生条件は極めて重要であり、透水シートの養生シートとしての性能をさらに向上させることができれば、より耐久性のあるコンクリート構造体を得ることができると考えられる。

5.2 今後の課題

(1) 簡便な上層の品質改善手法の検討

本研究で取り組んだ方法によっては、高さ方向の強度分布を十分に改善するには至らなかったため、他の有効な方法を考案する必要がある。

(2) 保水性能をさらに向上させた透水シートの開発

十分な保水性能を持った透水シートを開発することで、さらに耐久性のあるコンクリートが得られると考えられる。特に耐中性化性が向上することが考えられる。

参考文献

参考文献

- [1] 日本コンクリート工学協会：「透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関するシンポジウム」委員会報告書・論文集，2004. 9
- [2] セメント協会調査室：Hydron（ハイドロン）- 吸水性型枠裏張材，セメント・コンクリート，No. 48，pp. 35-38，1951.
- [3] 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp. 260-266，1998.
- [4] 竹田宣典，平田隆祥，十河茂幸，芳賀孝成：透水性シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善，コンクリート工学年次論文集，Vol. 11，No. 1，pp. 683-688，1989
- [5] 前田哲宏，松田孝允，三島直生，畑中重光：透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 24，No. 1，pp. 345-350，2002
- [6] 小林広美：透水性型枠工法を使用したコンクリートの性能改善，三重大学大学院修士論文，2004. 3
- [7] 小林広美，犬飼利嗣，三島直生，畑中重光：透水性型枠を使用したコンクリートの品質改善に関する研究（コンクリート上部における透水性型枠の効果），日本建築学会東海支部研究報告書，第 42 号，pp. 121-124，2004. 2
- [8] 三島直生，畑中重光，小林広美，犬飼利嗣：透水性型枠を使用したコンクリートの性能改善，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26，No. 1，pp. 363-368，2004
- [9] 古市護：透水・脱水工法を併用したコンクリートの鉛直部材表層部の品質改善，三重大学大学院修士論文，2008. 3
- [10] 古市護，三島直生，畑中重光：透水・脱水工法を併用したコンクリート鉛直部材表層部の品質改善，日本建築学会東海支部研究報告書，第 46 号，pp. 109-112，2008. 2
- [11] 古市護，三島直生，畑中重光：透水・脱水工法を併用したコンクリート鉛直部材表層部の品質改善方法に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 30，No. 1，pp. 411-415，2008.
- [12] 坂本英輔：モルタル・コンクリートの圧密特性の解明と改良型透水・脱水モデルの提案，三重大学大学院博士論文，2008. 3
- [13] 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリート技術の要点'02，社団法人日本コンクリート工学協会，p.186,279，2002
- [14] A. M. Neville：ネビルのコンクリートバイブル，技術堂出版，pp.297-298，2004
- [15] 石神忍，池永博威，梅国章：脱水工法に関する実験的研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.46，pp.498-503，1992
- [16] 永田幹雄，米田俊一，松永篤：，脱水型わくを適用したコンクリートの表層部の品質，セメント・コンクリート論文集，Vol.44，pp.336-341，1990

- [17] 小柳洽, 岩瀬裕之, 河合敦, 小山秀紀: 脱水型枠の使用によるコンクリート性能の改善, コンクリート工学年次論文集, Vol.10, No.2, pp.97-102, 1988
- [18] 池田弘, 田中健治郎, 町田亘寛, 清水猛: 透水型枠 (テキスタイルフォーム) によるコンクリート表層部品質の改善と鉄筋コンクリート建築物への適用: 熊谷技報, 第40号, pp.55-64, 1987.2
- [19] 竹田宣典, 平田隆祥, 十河茂幸, 芳賀孝成: 透水性シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善, コンクリート工学年次論文集, Vol.11, No.1, pp.683-688, 1989
- [20] 笠井芳夫, 佐藤孝一, 管一雅, 長野基司: 透水型わくおよび合板型わくを用いた表層コンクリートのセメント量, セメント技術報, No.42, No.1, pp.391-394, 1988
- [21] 芳賀孝成, 十河茂幸, 竹田宣典, 平田隆祥: コンクリートの品質改善を目的とした型わく用透水シートの開発ーエクセルフォーム工法ー, 大林組技術研究所報, No.39, pp.61-65, 1989
- [22] 熊谷太郎, 有岡正樹, 田辺大次郎: 透水型枠によるコンクリートの品質向上領域に関する実験的研究量, 土木学会論文集, No.433, Vol.15, pp.187-195, 1991
- [23] 石原誠一郎, 立花和彦, 崎山和隆, 木村建治, 吉川元清: 脱水・脱気型枠 (ドライフォーム) を転用施工したコンクリートの耐久性に関する研究, 浅沼組技術研究報, No.3, pp.37-51, 1991
- [24] 舟橋政司, 佐藤文則, 出頭圭三, 内田明: 樹脂マット型枠によるコンクリートの品質改善効果について, 前田技術研究報, No.39, pp.61-65, 1989
- [25] 田沢雄二郎, 平和男, 伊藤隆彦: 繊維張付け型枠を用いたコンクリートの表層品質について, セメント技術年報, No.42, pp.395-398, 1988.12
- [26] 庄谷征美, 月永洋一, 菅原隆: 表層部の緻密化によるコンクリートの品質改善に関する研究, セメント・コンクリート論文集, Nol.46, pp.570-573, 1992
- [27] 菅原隆, 庄谷征美, 佐伯昇: 表層部の緻密化によるコンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究, セメント・コンクリート論文集, Nol.46, pp.610-613, 1992
- [28] 石原誠一郎, 木村建治, 立花和彦: 脱水・脱気型枠 (ドライフォーム) による高強度コンクリートの耐久性に関する研究 (その2), 浅沼組技術研究報, No.2, pp.30-35, 1990
- [29] 庄谷征美, 月永洋一, 菅原隆: 表層部の緻密化によるコンクリートの品質改善に関する研究, セメント・コンクリート論文集, Nol.46, pp.570-573, 1992
- [30] 小林茂敏: 脱水型枠のすすめ, セメント・コンクリート, Nol.519, pp.40-45, 1990.
- [31] 山田政克, 三木栄一, 中川美礼: 繊維型枠工法をもちいたコンクリート, セメント・コンクリート, Nol.517, pp.26-33, 1990
- [32] 池永博威, 石神忍, 荻原忠治, 牟田有宏: 脱水型枠シートがコンクリートの品質に及ぼす影響について, コンクリート工学年次論文集, Vol.12, Nol.1, pp.999-1004, 1990

- [33] 崎山和隆, 木村建治, 石原誠一郎, 立花和彦, 島垣利久: 脱水・脱気型枠 (ドライフォーム) による高強度コンクリートの耐久性に関する研究, 浅沼組技術研究報, 創刊号, pp.102-108, 1989
- [34] 高見忠良, 宮本文恵, 村田豊喜, 長野重行: 脱水工法がコンクリートの耐久性に与える影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.43, pp.216-221, 1989
- [35] 前田哲宏, 松田孝允, 三島直生, 畑中重光: 透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.345-350, 2002
- [36] 飯島真人, 丸嶋紀夫, 森豊, 平井正樹, 細村正人: 透水型枠を使用したコンクリート躯体品質の改善, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.823-824, 1997
- [37] 伊藤康司, 丸山久一, 清水敬二, 橋本親典: フレッシュコンクリートの脱水機構に関する解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.12, No.1, pp.263-268, 1990
- [38] 岩竹季昭, 久米生泰, 庄司亨, 藤井学: 塩ビ製透水シートを用いた型枠工法のコンクリート表面性状について, 第46回土木学会年次学術講演会講演梗概集, pp.526-527, 1991
- [39] 大友健, 新藤竹文, 金子誠二, 内藤隆史: 高吸水ポリマーシートをもちいたコンクリート型枠面の物性改良工法, コンクリート工学年次論文集, Vol.9, No.1, pp.311-314, 1987
- [40] 牛島栄, 酒井芳文, 原田和樹: 各種脱水型枠を用いたコンクリートの表面性状および耐久性, セメント・コンクリート論文集, No.47, pp.450-455, 1993
- [41] 平井和喜, 三橋博三, 成田健, 鄭載東: 有孔型枠を用いたコンクリート表層部の性質変化と耐中性化特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.10, No.2, pp.437-440, 1988
- [42] 宮川豊章, 井上晋, 久米生泰: 透水型枠を用いたコンクリートの表面および内部の性質について, セメント・コンクリート論文集, No.45, pp.666-671, 1991
- [43] 片山功三, 小林茂敏: 透水型枠使用コンクリート表面に発生する微細ひびわれの原因と影響に関する研究, 土木学会論文集, No.433, Vol.15, pp.119-128, 1991
- [44] 荒川潤一, 榊田佳寛, 阿部道彦, 鹿毛忠継, 西山直洋, 中田善久, 田辺英男, 金谷秀光: コンクリートの塩害抑制に関する研究 (その4.透水型枠工法による塩化物イオンの浸透抑制効果), 日本建築学会学術講演梗概集, A-1, pp.283-284, 1996
- [45] 日本材料試験協会・実施コンクリート強度判定委員会: シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法 (案), 材料試験, Vol.7, No.59, pp.426-430, 1958.8
- [46] 前田哲弘, 松田孝充, 三島直生, 畑中重光: 透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.345-350, 2002.
- [47] 今本啓一, 山崎順二, 下澤和幸, 永山勝, 二村誠二: かぶりコンクリートの透気性

- に基づく RC 構造物の耐久性能検証に向けた基礎研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 74, No. 638, pp. 593-599, 2009. 4
- [48] 竹中寛, 末岡英二, 安田正雪: 透水型砕工法を用いたコンクリートの表面品質の改善に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, pp. 955-950, 2009
- [49] 谷川恭雄, 太田福男, 尾形素臣, 小野博宣, 金子林爾, 小池狭千朗, 山田和夫: 構造材料実験法〈第3版〉, 森北出版株式会社, pp199-203, 2003. 10
- [50] 畑中重光, 三島直生, 坂本英輔, 服部宏己: 真空脱水処理したコンクリートの中酸化特性に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, No. 57, pp. 349-354, 2003. 2
- [51] 野々目洋, 栗原哲夫, 矢野泰義: 透水型砕用シートによるコンクリート湿潤養生について, 土木学会第48回年次学術講演会, pp. 190-191, 1993

謝辞

謝辞

本論文をまとめるにあたり、畑中重光先生（三重大学大学院工学研究科教授）には、多くのご助言を頂くとともに、研究の方向が正しく進むように懇切丁寧なご指導を頂きました。三島直生先生（三重大学大学院工学研究科准教授）には、実験計画の立案から論文をまとめるに至るまで細部のわたるご指導・ご助言を頂きました。心より感謝の意を表します。

本実験を行うにあたり、和藤浩氏（三重大学技術専門員）には、職務で忙しいにもかかわらず数多くの実験を手伝って頂き、深謝いたします。

本研究室の先輩である坂本英輔氏（三重県建設技術センター）には、ご迷惑をかけることも多々ありましたが、研究に関する具体的なお助言を頂いたうえに、研究に行き詰まった時には力強い励ましの言葉を頂き、深謝いたします。

長谷川洋太郎君（三重大学学生）には、いつ終わるともしれない実験に、最後まで忍耐強く付き合って頂き、ありがとうございました。

また、社会人学生として既に博士後期課程を修了された、犬飼利嗣氏（東海コンクリート工業株式会社）、前川明弘氏（三重県科学技術振興センター）、中川武志氏（株式会社川島工業）、現在、博士後期課程の学生である、中浜貴生氏（四日市市役所）、内田寿久氏（安芸砂利）には、研究面のご助力・ご助言だけではなく、世の中のことなどを教えていただき、ありがとうございました。

研究室のメンバーである、Hashmatullah RASA 氏（三重大学大学院生）、張茂剛氏（三重大学大学院生）、田村雄一君（三重大学大学院生）、大石祐太君（三重大学大学院生）、森鼻泰大君（三重大学大学院生）、磯部裕介君（三重大学学生）、左口泰平君（三重大学学生）、佐野裕太君（三重大学学生）、横山達資君（三重大学学生）には、伴にゼミに参加し、実験等を手伝って頂きました。厚く御礼申し上げます。

畑中研究室に配属された3年前、実験や論文執筆のノウハウが全く無かった私が、博士前期課程を修了するとは夢にも思いませんでした。これもひとえに、先程、紹介させて頂いた皆様からのご支援・ご指導の賜物と深く感謝致します。この恩に報いることができるよう、益々精進したいと思います。

最後に、大学院にて勉強する機会を提供して頂き、終始温かく見守ってくれた両親に心より感謝します。

付録

- ・ 修士論文梗概
- ・ 修士論文発表パワーポイント
- ・ 学外投稿論文

透水性型枠工法における脱水メカニズムの解明と性能改善手法の検討

畑中研究室 408M413 西川 稔

1. はじめに

透水性型枠工法は、型枠とコンクリートの間に透水性を有したシート（以下、透水シート）を設置することにより、側圧を利用してコンクリート中の余剰水を型枠の外へ自然排水させる工法である。これによりコンクリート表層部の水セメント比が低下し、表層部が緻密化するため、強度をはじめとするコンクリートの品質を向上させることができる。しかし、透水性型枠工法による品質改善効果には鉛直方向に分布が有り、側圧の大きい部材の下部では品質改善効果は大きい、側圧の小さい部材の上部では品質改善効果が小さい^{1), 2)}。従って、透水性型枠工法を利用した構造体において、より耐久性を向上させるには、図-1 に示すような側圧の小さい型枠上部に特化した改善方法が必要となる。

これに対して本研究では、透水型枠工法におけるコンクリート部材の品質改善手法として、①「透水シートに発生する表面張力を低減し、排水を促進させる」②「透水シートを養生シートとして併用し、全体的な品質向上を図る」③「コンクリート打設時に十分に締固めを行い、排水を促すことで品質改善効果を高める」という三つの方法について検討を行った。

2. 既往の研究

2.1 透水型枠工法を使用したコンクリートの品質

2.1.1 排水量

透水型枠工法によるコンクリート中の余剰水の排水量はコンクリート上部よりも下

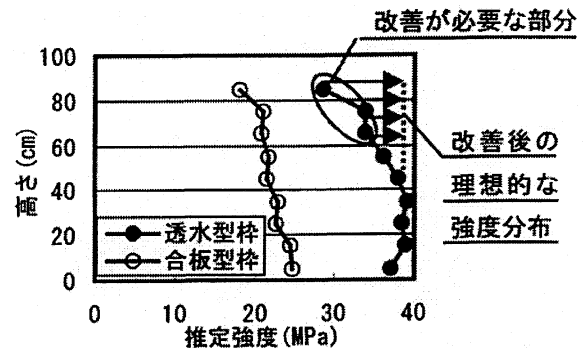


図-1 透水型枠を利用したコンクリートの強度改善のイメージ図³⁾

部の方が多い。理由はコンクリートの型枠への側圧が型枠の下部に向かうほど大きいことに起因すると考えられている⁴⁾。

2.1.2 表面反発度

透水型枠工法によりコンクリート表面は緻密化され、表面反発度においてコンクリートの品質改善効果が見られる。この傾向は、若材齢時およびコンクリート下層部において顕著である²⁾。

2.1.3 圧縮強度

透水型枠工法を使用することにより、コンクリートの内部圧縮強度にも改善効果がみられる²⁾。処理面から内部への影響深さは調査および施工条件に大きく影響されるものの、おおそ 5~50mm 程度まで及ぶとされている。透水型枠工法の影響範囲外におけるコンクリートの圧縮強度は普通コンクリートと同程度であり、透水型枠工法の影響によるコンクリート強度の劣化部分はない。

2.2 透水型枠工法と他工法を併用したコンクリートの品質

本研究室では部材上部において、より品質改善効果を高めるため、加圧脱水、再振動締

固め, 真空脱水工法, モルタルピース挿入の
枠上部表層の強度改善には型枠上部に真空
脱水工法を施す方法が最も有効であること
が明らかとなった。しかし, 真空脱水処理に伴
う空隙の増加や, 型枠や真空脱水処理装置が
煩雑になるといった課題が残った。

2.3 既往の研究のまとめ

透水型枠工法を行うことにより, コンクリ
ート表層部の品質を改善することができる。
しかし, コンクリート上部表層では, 品質改
善効果が小さい。構造物は弱部より劣化が進
行していくことを考えると, 透水型枠工法に
よるコンクリートの品質改善効果を充分に
生かしているとはいいい難い。この問題の解決
方法として, 真空脱水処理を施す方法が有効
であることが示された⁵⁾。しかし, 実際の施工
性を考慮すると, 型枠や真空脱水処理装置が
煩雑になり, 実用性に乏しいといった課題が
残った。

このため本研究では, 透水シートの改良や
施工方法の改良による, 透水型枠工法の品質
改善方法について検討を行った。

3. 透水シートの表面張力に着目した上層部
の品質改善手法の検討

本章では, 実験Ⅰ～Ⅲの実験を行い, 表面張
力の低減による品質改善効果を検討した。実
験Ⅰでは, 透水シートからの排水に必要な水圧
を明らかにすることを目的とし, 予備実験を行
った。実験Ⅱでは, 構造体上層部での透水性能
の改善効果を検討することを目的として, 小型
試験体(試験体サイズ: 150×150×150 mm)を
用いた実験を行った。実験Ⅲでは, 大型試験体
(試験体サイズ: 1000×450×150 mm)を用いて,
実際の品質改善効果を検証した。

3.1 透水シートの排水メカニズム

透水シートから余剰水が排出されるメカニ

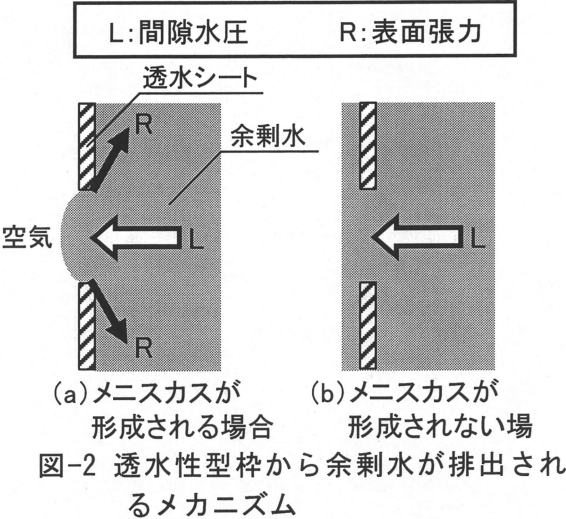


表-1 要因と水準 (3 章)

要因	水準
透水シートの孔径(mm)	0.6(従来型), 1.2(改良型)
透水シートへの前処理	無, 親水性塗料噴霧, 水噴霧
再振動処理*1	無, 有
型枠の種類*2	透水型枠, 合板型枠

[註] : 基本水準
*1: 実験Ⅱと実験Ⅲにて検討を行った。
*2: 実験Ⅲにて検討を行った。

ズム (図-2) は, 透水シート孔のメニスカスに
生じる表面張力 (以下, R) がコンクリート内
部の水の間隙水圧 (以下, L) より小さい場合
($R < L$) である。したがって, 透水性能の改善
手法として, 表面張力を小さくする手法, また
は間隙水圧を大きくする手法が考えられる。

表-1 に, 本章 3 シリーズの実験において検討
した実験の要因および水準を示す。実験要因
は, 透水シートの孔径, 透水シートへの前処理,
再振動処理である。このうち, 透水シートの孔
径, 透水シートへの前処理は, 表面張力 (R) を
小さくする手法であると想定し, 再振動は間隙
水圧 (L) を大きくする手法であると想定した。

孔径は, 従来の 0.62 mm 程度から 1.22 mm まで
拡大したものを試作した。水噴霧は, 透水シー
トを水で浸して湿潤状態で用いた。親水性塗
料噴霧は, 親水性塗料の原液を霧吹きで湿潤
状態になるまで透水シートに塗布した。再振
動は, コンクリート打設の 60 分後に, 型枠表面
を振動機によって, 20 秒間加振した。

3.2 透水シートからの排水に必要な水頭高さの測定(実験Ⅰ)

3.2.1 実験概要および実験方法

図-3 に、試験装置の概要を示す。試験方法は、内径 50 mm のアクリル管（長さ 1000 mm）の下端に透水シートを張りつけたアダプタを取り付け、上部から水を流下させ、透水シート全面から排水が確認されたときの水頭高さを計測した。水の投入開始時は、水の落下エネルギーが直接シートに加わらないように、ホースの口を透水シート面から 30 mm 上部のアクリル管壁に接した状態とし、水頭高さの上昇とともにホースの口の高さを調整した。測定項目は、全面透水開始時の水頭高さとした。

3.2.2 実験結果および考察

図-4 に、各種要因が全面透水開始の水頭高さに及ぼす影響を示す。同図によれば、透水シートの孔径の大小で比較すると、水頭高さに大きな差は見られなかった。

透水シートの水分状態で比較すると、透水シートを水で湿潤状態としたものは、乾燥したものと比較して、水頭高さが大幅に小さくなった。これは、透水シートを湿潤状態にすることで、透水シートにメニスカスが形成されにくかったためと考えられる。

親水性塗料の有無で比較すると、親水性塗料を塗布した透水シートは、塗布していないものと比較して、水頭高さが大幅に小さくなった。これは、透水シートに塗布した親水性塗料により水の表面張力が低下したこと、および透水シートが湿潤状態になりメニスカスが形成されにくかったためと考えられる。

3.3 小型試験体による予備実験(実験Ⅱ)

3.3.1 実験概要および試験体作製方法

表-2 に、使用したコンクリートの調合を示す。図-5 に、試験体の概要を示す。試験体の

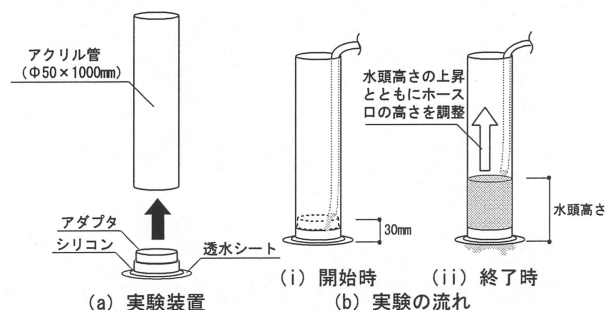


図-3 試験装置の概要(実験Ⅰ)

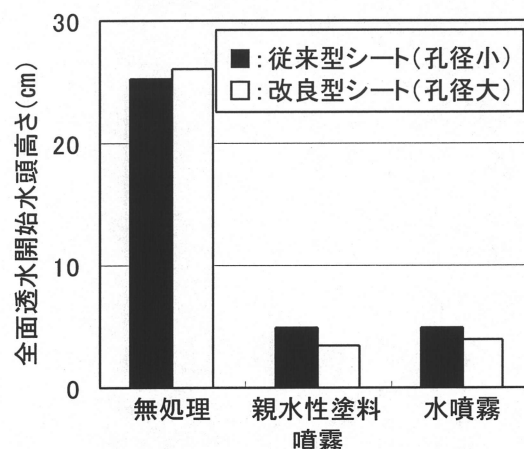


図-4 各種要因が全面透水開始の水頭高さに及ぼす影響

表-2 調合表(実験Ⅱ)

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
20	65	56	185	285	993	801

[註] Fc: 目標圧縮強度, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率
W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

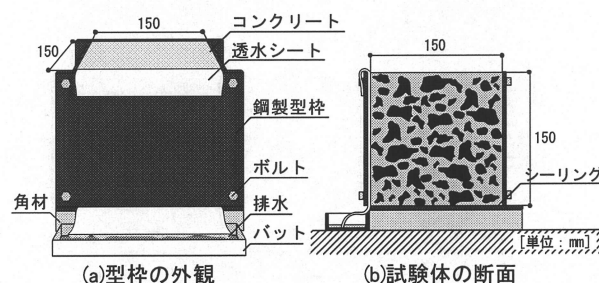


図-5 試験体の概要(実験Ⅱ)

作製は、150×150×150 mm の鋼製型枠を使用し、2 層に分けてコンクリートの打設を行い、各層突き棒による 15 回突き、およびジッキングによって締固めを行った。測定項目は、透水シートから排出された透水量の時刻歴、目視による試験体上層部の観察である。

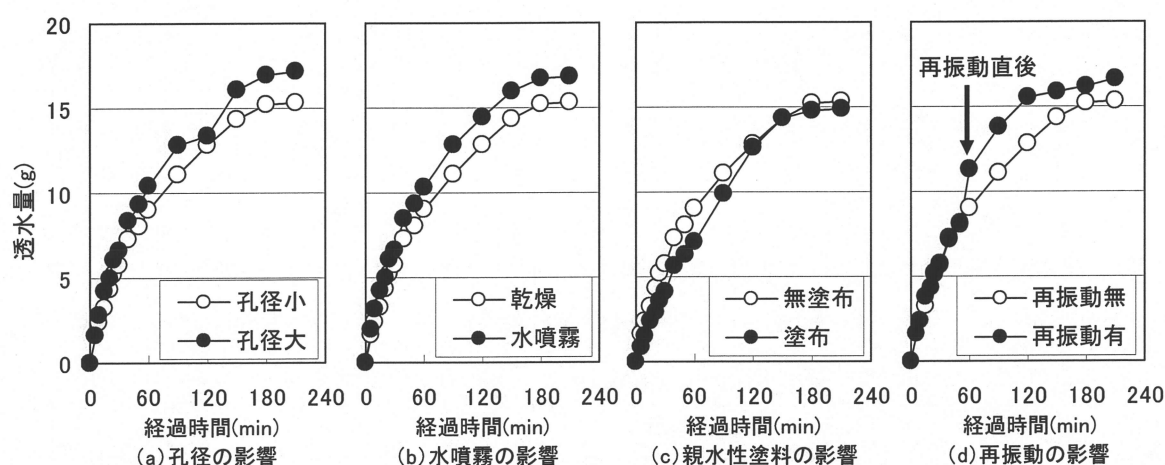


図-6 各種要因が透水量に及ぼす影響

3.3.2 実験結果および考察

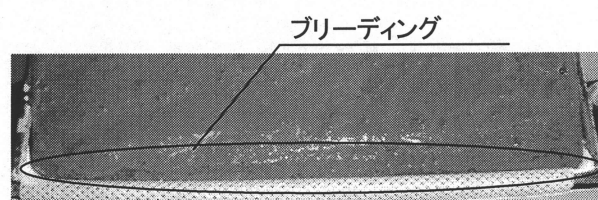
図-6 に、各種要因が透水量に及ぼす影響を示す。同図によれば、透水シートの孔径で透水量を比較すると、孔径の大きい透水シートの方が、透水量が多い。

孔径の小さい透水シートを水で湿潤状態とした試験体は、孔径の大きい透水シートと同じような時刻歴をたどって排水している。このことから、透水シートを水で湿潤状態すると孔径の大きい透水シートと同等の透水性能が得られると考えることができる。

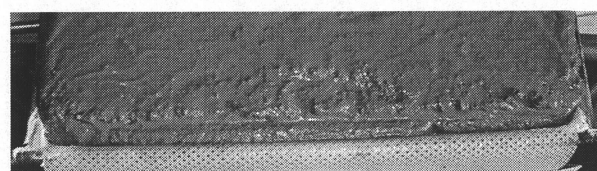
親水性塗料の有無で比較すると、親水性塗料を塗布した試験体は、塗布していない試験体と比較して、透水量が小さくなった。これは、親水性塗料によって透水シート近傍の排水の粘性が高くなり、透水時の抵抗が大きくなったためと考えられる。

再振動の有無で比較すると、再振動を加えた直後では、透水量の増加が見られるが、その後の透水量の増加は、他の試験体と比べて少ない。これは、振動を加えたことによって一時的に間隙水圧が上昇し、余剰水が排水されやすくなったものの、急激に脱水されたためにシート付近が緻密となって、その後は透水しにくくなったためと考えられる。

コンクリート打設 90 分後に、目視により



(a) 旧型透水シート



(b) 旧型透水シート+親水塗料

写真-1 透水面のブリーディング量

各試験体上部の観察を行ったところ、孔径の小さい透水シートを用いた試験体、孔径の大きい透水シートを用いた試験体、および透水シートを水で湿潤状態にした試験体では、ブリーディングが溜まっている状態〔写真-1(a)参照〕であり、3つの試験体間であまり差は見られなかった。また、再振動を行った試験体では、他の試験体に比べてブリーディングが多かった。

一方、透水シートに親水性塗料を塗布した試験体は、最終的な透水量自体は少ないが、シート近傍ではブリーディング水はほとんど見られなかったことから〔写真-1(b)参照〕、透水性塗料はブリーディングの除去には効果があると考えられる。

表-3 調合表（実験Ⅲ）

W/C (%)	s/a (%)	SL (cm)	単位質量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
60	54.1	18	185	308	907	848

[註]W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, SL:設計スランプ
W:水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材

表-4 測定項目（実験Ⅲ）

試験項目	試験方法
スランプ	JISA1101に準拠
空気量	JISA1128に準拠
ブリーディング量	試験体上面からスポイトを用いて採取 蓋付の容器に収集し、蒸発を防ぐ
透水量	試験体下面からバットを用いて採取 蓋付の容器に収集し、蒸発を防ぐ
反発度	P型ハンマーによる 試験材齢3日, 7日, 28日
圧縮強度	壁試験体:試験材齢35日 円柱試験体:試験材齢28日
中性化深さ	26週間の促進中性化を行った後, JISA1152に準拠

3.4 大型試験体による品質改善効果の検証 （実験Ⅲ）

3.4.1 実験概要および実験方法

表-3に、使用したコンクリートの調合を示す。試験項目および試験方法の一覧を表-4に示す。図-7に、試験体の概要および各試験の測定位置を示す。試験体の作製は、450×150×1000 mmの鋼製型枠を使用し、2層に分けてコンクリートの打設を行い、各層を棒状バイブレータにて25秒間の締固めを行った。その後材齢2日で脱型を行い、気中養生とした。表-4の測定項目の内、本梗概では、耐久性の指標に広く使用される中性化深さについての結果を示す。また、親水性塗料の試験体は、透水量が得られなかったため、試験を省略した。

3.4.2 実験結果および考察

各試験体の中性化深さを図-8に示す。これによると、透水性型枠を使うことによって中性化深さは低減されるが、透水シートの孔径、水噴霧、再振動によってはほぼ同じ値となっており、耐久性の向上は見られなかった。なお、反発度においても同様の結果であり、想定していた品質改善効果は見られなかった。

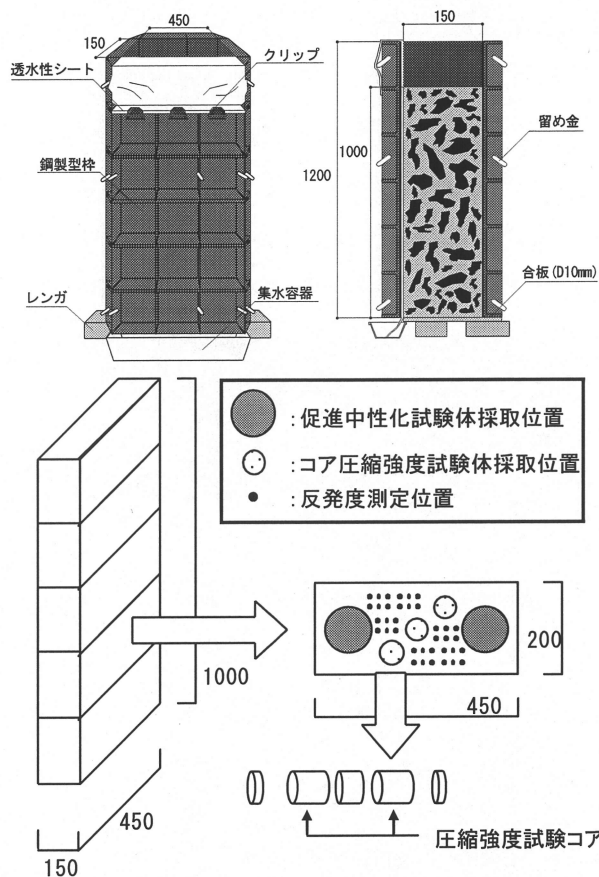


図-7 試験体の概要（実験Ⅲ）

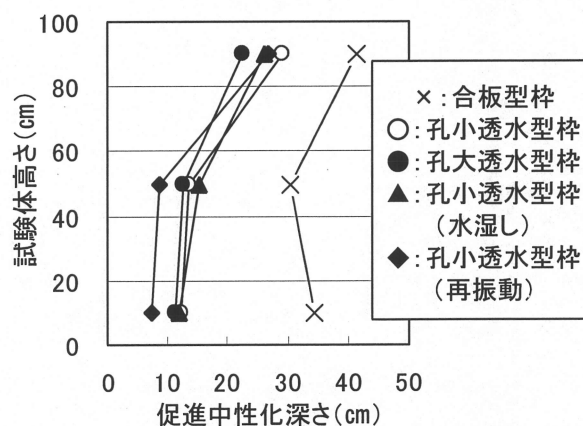


図-8 各試験体の中性化深さ

3.5 まとめ

透水シートに発生する表面張力を低減する方法によっては、均質なコンクリートを得るには至らなかった。親水性塗料噴霧や水噴霧の処理では、処理を施してから時間が経ちすぎて十分な改善効果が得られないという問題が生じたため、施工に最適な方法を検討しなければならない。

4. 透水シートの保水性能および側圧分布に着目した品質改善手法の検討

透水シートの表面張力に着目した品質改善手法の検討では、一様な品質のコンクリートを得るには至らなかった。そこで本章の実験Ⅳでは、スランプの小さいコンクリートを使用することによって側圧分布を小さくし、内部振動機による締固め時間を長くすることによって、強度分布を低減することを検討した。また、脱型後に透水シートがコンクリート表面に付着している特性を利用し、透水シートを封かん養生シートとして併用する事についても検討した。実験Ⅴでは実験Ⅳ作製した試験体の水中養生時のポテンシャルについて確認を行った。

4.1 シート貼付時および側圧分布低減時の品質改善効果(実験Ⅳ)

4.1.1 コンクリートの調合および使用材料

コンクリートの調合表を表-4に示す。使用材料を表-5に示す。セメントは中庸熟ポルトランドセメントを使用した。粗骨材最大寸法は、55mmの圧縮強度測定用コア試験体採取することを考慮して、13mmのものを使用した。

4.1.2 試験体概要と要因および水準

試験体の概要を図-9に示す。本研究では試験体の1面から透水を行っている。要因および水準を表-6に示す。下線のある水準は基本水準を示し、特定の要因を変化させる際、その他の要因は下線の基本水準に固定した。実験要因は、型枠の種類、スランプ、初期養生方法および試験体高さである。高さ50cmの試験体で構造体上層部を再現出来ているかを確認するため、高さ1mの試験体を作製した。透水シートは不織布と有孔フィルムの二層一体構造のものを使用し、孔径は従来の0.62mmのものを使用した。コンクリートは、1層あたりの打込み高さを25cmとして打設し、各

表-4 調合表(実験Ⅳ)

調合	W/C	設計値				単位量(kg/m ³)			
		Fc*	SL	Air	s/a	W	C	S	G
	(%)	(MPa)	(cm)	(%)	(%)				
①	55	33.6	15	4.5	43	170	309	788	1038
②	55	33.6	5	4.5	43	170	309	788	1038

[註]*Fcは原子力研究委員会の中間報告書のデータを参考にした。

表-5 使用材料(実験Ⅳ)

使用材料	特性
セメント	中庸熟ポルトランドセメント($\rho=3.21\text{g/cm}^3$)
細骨材	安濃川産陸砂:花こう岩質砂岩($\rho=2.63\text{g/cm}^3$)
粗骨材	志摩産砕石:硬質砂岩, $\phi_a=13\text{mm}$ ($\rho=2.68\text{g/cm}^3$)
混和剤	AE減水剤, AE剤

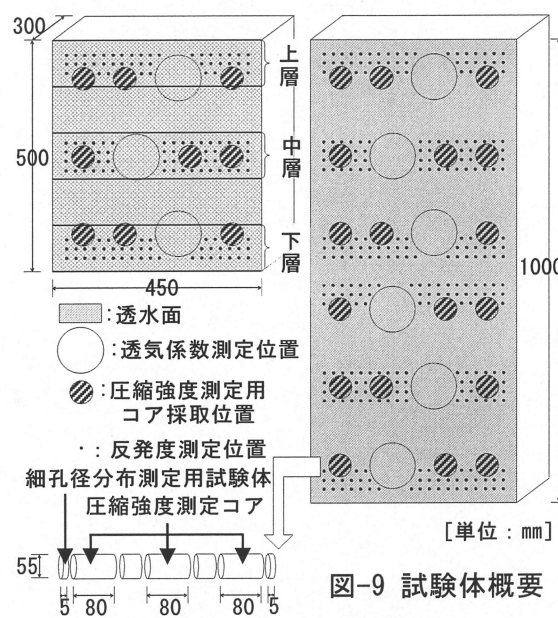


図-9 試験体概要

表-6 要因と水準(実験Ⅳ)

要因	水準
型枠の種類	透水型枠, 通常型枠
初期養生方法	気中養生 ^{*1} , シート貼付け養生 ^{*2} , 水中養生
スランプ ^{*3}	15cm, 5cm
試験体高さ	500mm, 1000mm

[注]_: 基本水準

*1: 材齢3日で脱型後実験室内にて気中養生。

*2: 脱型後は材齢10日まで透水シート貼付け養生。

*3: スランプにより打設時の振動時間を変化させる。

層毎にスランプ15cmの試験体は25秒間、スランプ5cmの試験体は40秒間、内部振動機により加振した。試験体作製は、6月初旬に行い、材齢3日で脱型を行った。その後は直立させた状態で、実験室内で気中養生とした。シート貼付養生を行う試験体は透水シートをそのまま設置し、材齢10日でシートを撤去し、その後は気中養生とした。

4.1.3 測定項目および測定方法

測定項目および方法の一覧を表-7に示す。透水量は、型枠に敷設した透水シートの下端から排水される水をバットで採取し、貯まった水を測定時間毎に蓋付の容器に移し、測定した。

反発度は各層、各材齢において14点ないし16点で測定した。その際、測定点が各材齢で分散するよう留意した。

表層付近の含水率（カタログ値では表面から深さ4cm付近）は高周波式コンクリート・モルタル水分計を用いて、各層各材齢において4点で測定した。測定位置は、図-9に示す圧縮強度測定用コア採取位置上と透気係数測定位置上である。

透気係数は、トレント法を用いて測定した。

圧縮強度測定用コア試験体は、材齢30日に各層から3本コアを採取後、表層5mmを細孔構造測定用として使用し、残りの部分を3層にカットしたものとした。また圧縮強度の測定材齢は5週目とした。

細孔量測定用試験体は、圧縮強度測定用コア試験体と同時に作製し、72時間真空乾燥を行った後、水銀圧入式ポロシメーターを使用して測定した。

材齢42日においてコアドリルでφ100mm×300mmのコアを試験体から採取し、透水面および合板面から表層7.5cmの位置で切断した。その後7週間静置した後、表層のみ残して側面と底面（コンクリート内側）にエポキシ系樹脂でシーリングを施し、十分に乾燥させたものを促進中性化試験体とした。促進中性化試験は、温度20℃、湿度60%、二酸化炭素濃度5%の促進中性化槽にて11週間行った。その後コンクリートカッターにて試験体を切断し、フェノールフタレイン1%エタノール溶液を吹きかけて中性化深さを測定した。

表-7 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JISA1101に準拠
空気量	JISA1128に準拠
ブリーディング量	試験体上面からスポイトを用いて採取 蓋付の容器に収集し、蒸発を防ぐ
透水量	試験体下面からバットを用いて採取 蓋付の容器に収集し、蒸発を防ぐ
反発度	P型ハンマーによる 試験材齢7日、14日、28日
表面水率	高周波式水分計による 試験材齢7日、14日、28日
透気係数	トレント法による 試験材齢28日
圧縮強度	壁試験体：試験材齢35日 円柱試験体：試験材齢28日
細孔構造	水銀圧入式ポロシメーターによる
中性化深さ	11週間の促進中性化を行った後、 JISA1152に準拠

4.2 実験結果および考察

4.2.1 基礎性状

本研究で使用したコンクリートは、調合番号①の荷卸し時のスランプが16.5cm、空気量が4.8%であった。調合番号②の荷卸し時のスランプが4.5cm、空気量が4.1%であった。円柱試験体の材齢28日における圧縮強度は、調合番号①において、標準水中養生で24.2N/mm²、気中養生で17.2N/mm²であった。調合番号②では標準水中養生で19.7N/mm²、気中養生で15.7N/mm²であった。

4.2.2 透水量およびブリーディング量

透水量の測定結果を図-10に示す。透水量はスランプの小さい試験体で一番少なく、試験体高さが1000mmの試験体で最も大きくなっている。

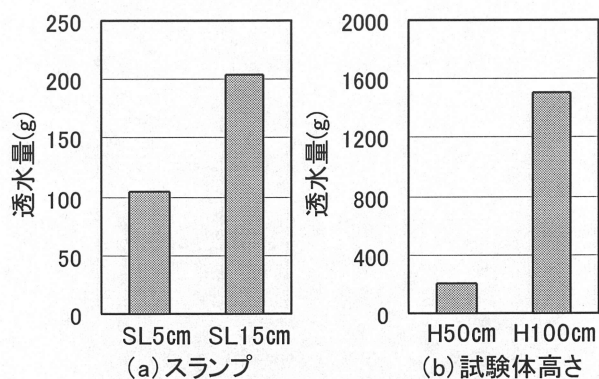


図-10 透水量の測定結果

ブリーディング試験結果を図-11 に示す。
SL5 cmの方が SL15 cmよりもブリーディング
量が多くなっている。これは SL5 cmの方が、
加振時間が長かったためと考えられる。また、
透水シートを使用するとブリーディング量
も少なくなっている。

4. 2. 3 表層部付近の含水率

各種要因と各材齢における表面水率を図
-12 に示す。これによると材齢によらず、透
水シートを用いた方が含水率は高くなっ
ている。また、材齢 10 日まで透水シートを貼
ったまま養生したシート養生供試体では、材
齢 14 日に他の要因と比較してかなり高くな
っている。これにより、透水シートには乾燥
防止性能があることがわかる。

4. 2. 4 反発度による推定圧縮強度

各材齢における反発度から推定した推定

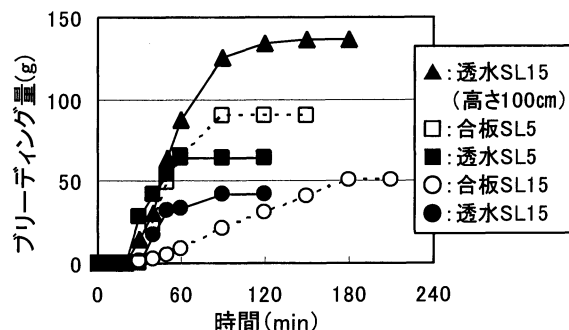


図-11 ブリーディング量の時刻歴

圧縮強度を図-13 に示す。これによると、透
水シートを使用すると全ての試験体におい
て反発度は改善されている。また、シート貼
付養生を行った試験体では、材齢 14 日にお
ける反発度が大きくなっている。これは、透水
シートの乾燥防止性能によるものと考えら
れる。固練りのコンクリートを使用した試験
体については、SL15 cmの試験体とほぼ同じ値
であり、明確な品質改善は見られなかった。

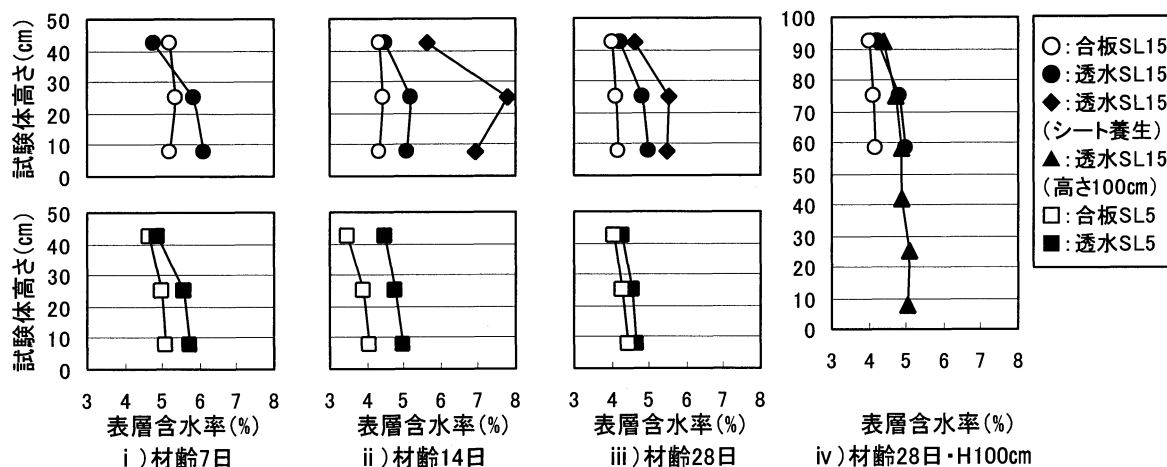


図-12 各材齢における表層含水率

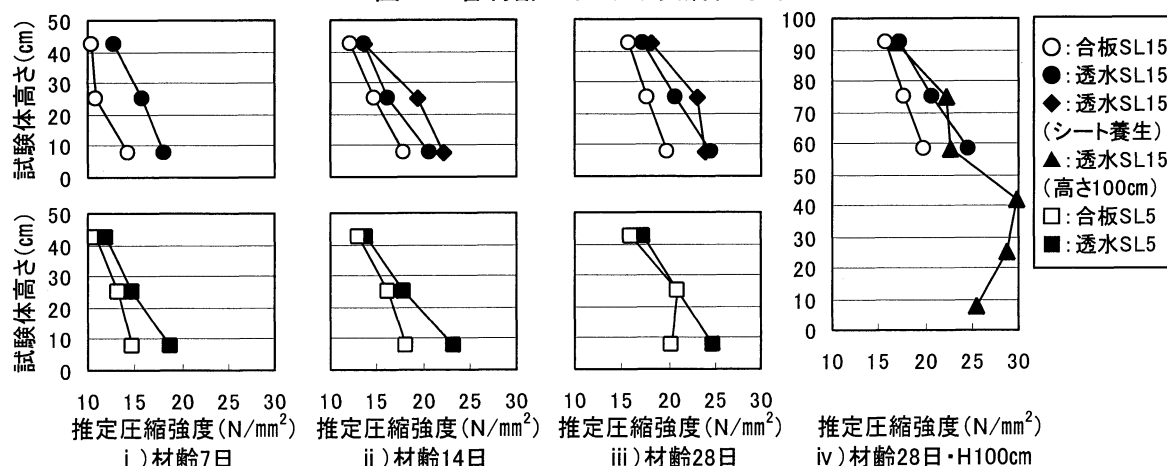


図-13 各材齢における反発度による推定圧縮強度

4.2.5 透気係数

材齢 28 日における透気係数の測定結果を付図-14 に示す。試験体の下層部において透気係数が低くなっているが、全体的に他の文献による報告値と比べて本試験結果の値は極端に大きい。この原因としては、セメントに中庸熱セメントを用いたにもかかわらず、材齢 3 日で脱型し、気中養生としたためと考えられる。よって、高耐久なコンクリートを作るためには、封かん養生期間の延長や、湿潤養生期間を設けるなどの対処が必要と考えられる。

4.2.6 細孔構造

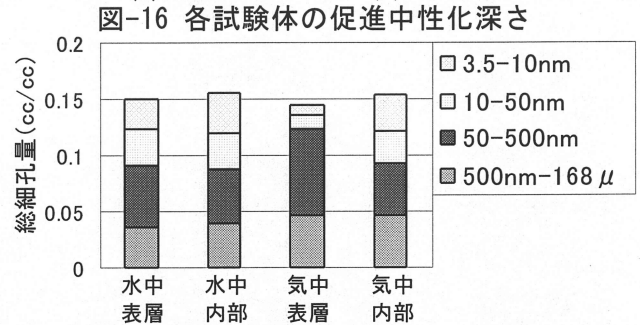
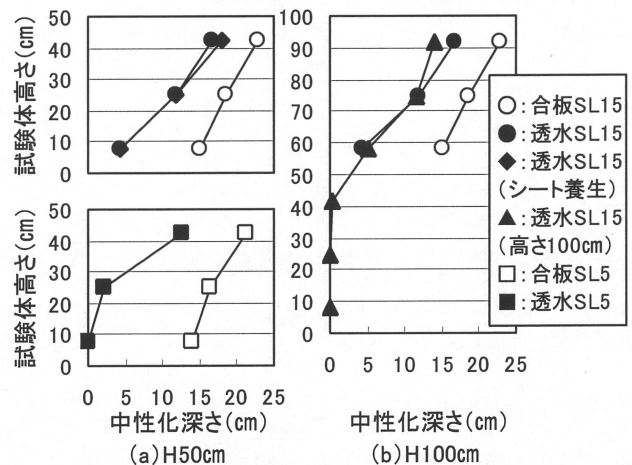
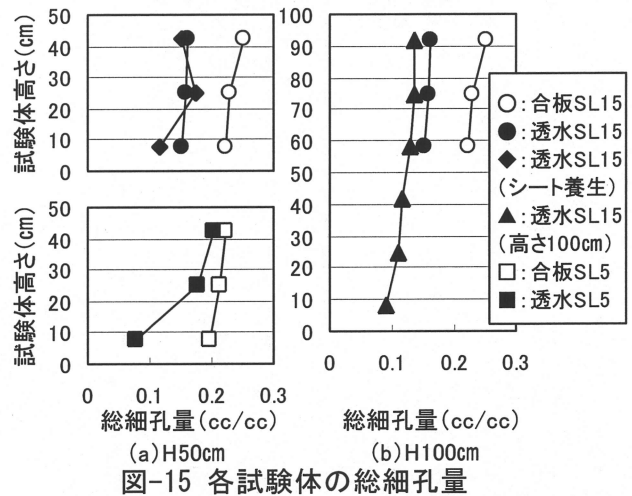
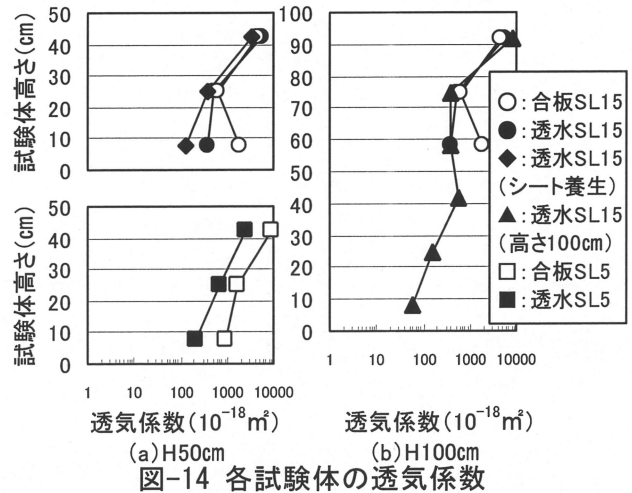
総細孔量の測定結果を図-15 に示す。これによると、透水シートを用いることによって細孔量は減少しているものの、シート養生の効果は明確には見られない。

4.2.7 促進中性化深さ

促進中性化を 11 週行った後の中性化深さを、図-16 に示す。中性化深さの測定結果では、透水シート使用時と未使用時の差が顕著であり、透水型枠の使用により、下層ほど中性化深さが顕著に浅くなることが確認できる。また、高さ 100 cm の試験体では、試験体高さ 40cm 以下の範囲ではほぼ中性化が止まっている。促進中性化試験の結果からは、シート養生の効果は明確には見られなかった。

4.3 水中養生時と気中養生時の細孔径分布の比較（実験 V）

図-17 に水中養生時と気中養生時の表層部分および試験体内部の細孔径分布を示す。これによると、試験体内部の細孔径分布は等しくなっているが、気中養生時の表層部分は、50nm 以上の空隙が多くなっている。これは、気中養生の表層部分は、乾燥の影響を受け、それによって養生水が不足し、水和が阻害されたためと考えられる。



4.4 まとめ

本章の実験では、透水型枠によるコンクリートの品質改善効果は、既往の研究で報告されている通り、良好な結果が得られているものの、本研究で主目的とした、高さ方向の品質分布の均質化、および透水シートの養生シートとしての適用性に関しては、十分な結果を得るには至らなかった。

5. 結論および今後の課題

5.1 結論

- 1) 本研究で取り組んだ方法によっては、高さ方向の強度分布を十分に改善するには至らなかった。
- 2) 透水シートをコンクリートに残留させたまま養生シートと利用することで、乾燥防止効果が得られる。

5.2 今後の課題

- 1) 高さ方向の強度分布を改善するための、他の有効な方法を考案する必要がある。
- 2) 十分な保水性能を持った透水シートを開発することで、さらに耐久性のあるコンクリートが得られると考えられる。特に中性化への耐性が向上することが考えられる。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、内田寿久氏（安芸砂利）の助力を得た。また、本実験で使用した透水シートは、野々目洋氏（株式会社戸田建設）よりご提供いただいた。本実験で使用した中庸熱セメントは、太平洋セメント株式会社よりご提供いただいた。本研究の一部（4章）は、原子力発電所施設鉄筋コンクリート工事研究委員会基礎研究WGの研究の一環として行った。また、本研究に際して、和藤浩氏（三重大学技術員）、畑中研究室の諸氏のご助力を

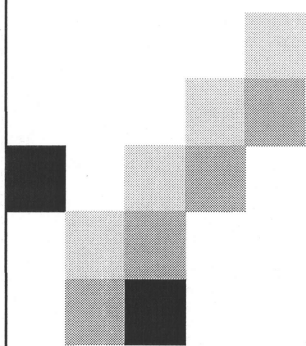
得た。付記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 竹田宣典, 平田隆祥, 十河茂幸, 芳賀孝成 : 透水シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善, コンクリート工学年次論文集, Vol. 11, No. 1, pp. 683-688, 1989
- 2) 前田哲宏, 松田孝允, 三島直生, 畑中重光 : 透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 345-350, 2002
- 3) 三島直生, 畑中重光, 小林広美, 犬飼利嗣 : 透水性型枠を使用したコンクリートの性能改善, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, pp. 363-368, 2004
- 4) 石原誠一郎, 立花和彦, 崎山和隆, 木村建治, 吉川元清 : 脱水・脱気型枠（ドライフォーム）を転用施工したコンクリートの耐久性に関する研究, 浅沼組技術研究報, No. 3, pp. 37-51, 1991
- 5) 古市護, 三島直生, 畑中重光 : 透水・脱水工法を併用したコンクリート鉛直部材表層部の品質改善方法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 1, pp. 411-415, 2008.

【発表論文】（関連分のみ）

- 1) 西川稔, 坂本英輔, 三島直生, 畑中重光 : 透水シートの表面張力に着目した透水性型枠工法の改善に関する基礎研究, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第 47 号, pp. 105-108, 2009
- 2) 西川稔, 坂本英輔, 三島直生, 畑中重光 : 透水シートの排水メカニズムに着目した透水性型枠工法の改善に関する基礎的研究, 2009 年度大会（東北）学術講演梗概集, A-1 材料施工, pp. 581-582, 2009.8



透水性型枠工法における 脱水メカニズムの解明と 性能改善手法の検討

408M413 西川 稔

指導教員 畑中 重光 教授
三島 直生 准教授

研究背景

現場施工のコンクリートは、良好
得るために、一定の単位水量で
和に必要な水以外の水(余剰水

↓ そこで考案されたの

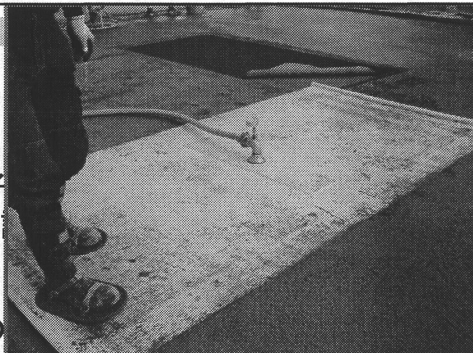
透水性型枠工法

真空脱水工法

加圧脱水工法

余剰水がコンクリート中に残った状態で硬化
すると、その部分が空隙となり、強度や耐久
性の低下の原因となる。

本研究は、透水性型枠工法について、
課題の改善および性能向上手法を検討する。



背景

課題

構成

実験Ⅰ

実験Ⅱ

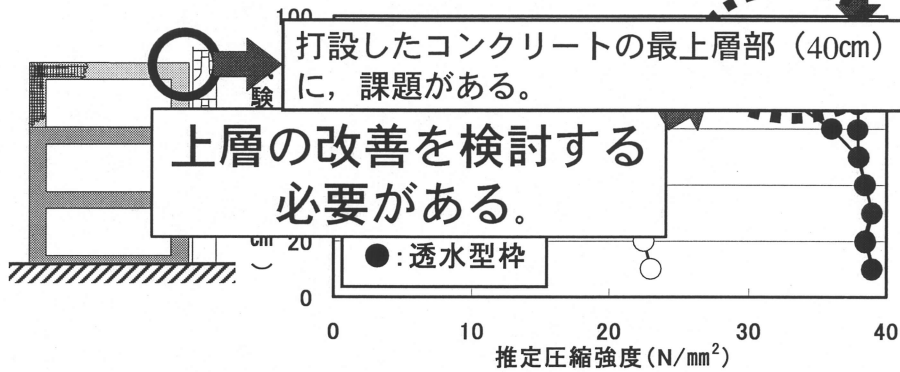
実験Ⅲ

実験Ⅳ

結論

透水性型枠工法の課題

●: 理想的強度分布



上層部と下層部の強度勾配が、合板型枠と比較しても大きい。
⇒強度および耐久性は、最も弱い所で決まる。

背景

課題

構成

実験 I

実験 II

実験 III

実験 IV

結論

論文構成

第1章
序論

第2章
既往の研究

第3章

表面張力に着目した上層部の品質改善

実験 I : 透水シートからの排水に必要な水頭高さの測定

実験 II : 小型試験体による透水量の測定

実験 III : 大型試験体による確認

第4章

透水シートの保水性能に着目した品質改善

実験 IV : 養生による品質改善

第5章

結論および今後の課題

背景

課題

構成

実験 I


実験 II

実験 III

実験 IV

結論

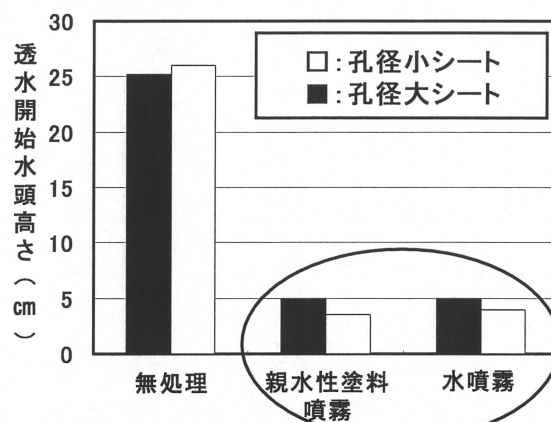
実験 I 概要



実験 I では、水が透水シートを通過する水頭高さを測定し……
⇒シートの状態による透水開始時の水頭高さの違いを見る。

背景 課題 構成 **実験 I** 実験 II 実験 III 実験 IV 結論

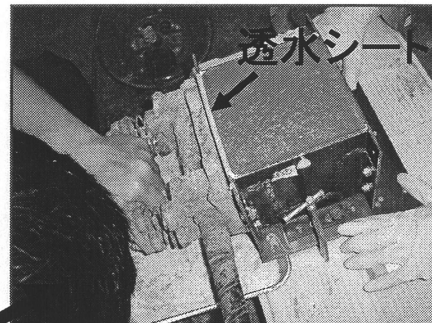
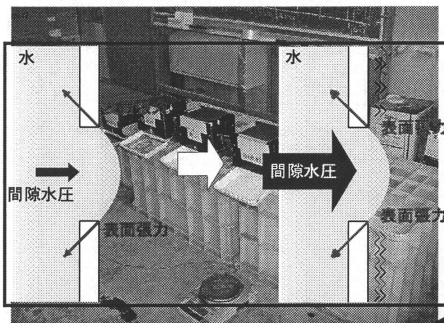
実験 I 結果



⇒親水塗料噴霧と水噴霧によって、水頭高さが改善された。
実験 II では、実際にコンクリートを用いて透水量を測定した。

背景 課題 構成 **実験 I** 実験 II 実験 III 実験 IV 結論

実験Ⅱ 概要



15cm角の試験体を用いて、各要因の透水量を測定する。
実験Ⅰの要因に、再振動を加えた。

再振動により液状化し、間隙水圧が増大する。

背景

課題

構成

実験Ⅰ

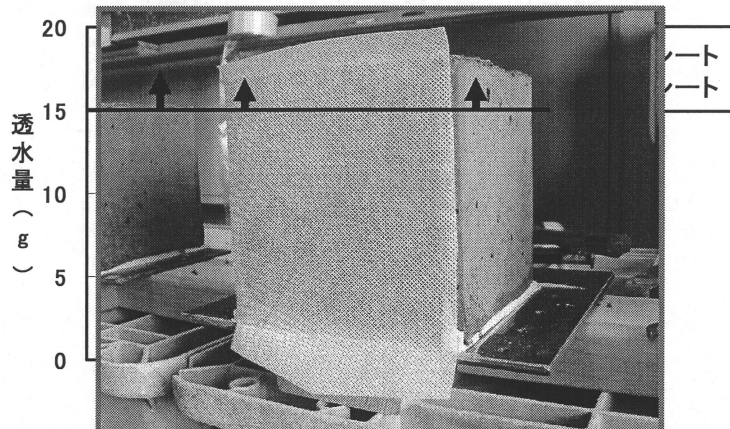
実験Ⅱ

実験Ⅲ

実験Ⅳ

結論

実験Ⅱ 結果 ⇒ 実験Ⅲ



毛水噴霧土層部は、振動により透水量が多い。
⇒透水量の多い土層部に利用する事を試みた。
実験Ⅰ土層部の結果を参考に、大型試験体で実験を行った。

背景

課題

構成

実験Ⅰ

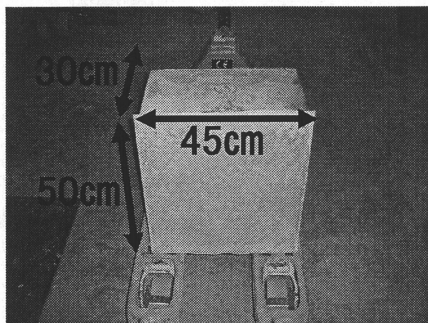
実験Ⅱ

実験Ⅲ

実験Ⅳ

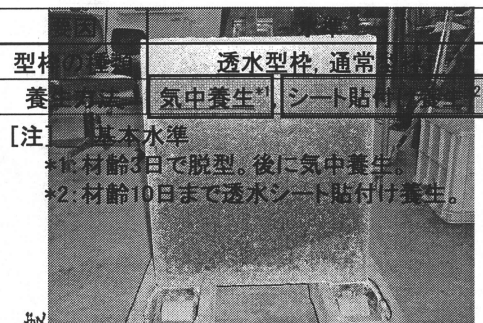
結論

実験Ⅳ概要



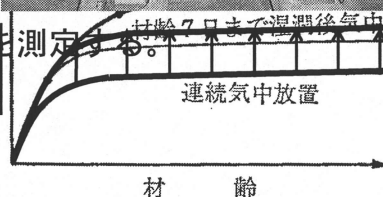
⇒湿潤状態を維持すれば、50%
ほどの強度改善が見込める。

⇒含水率と反発度を検討する。



型枠の透気性 透水型枠、通常
養生方法は 気中養生*1 シート貼付養生*2

[注] 基本水準
*1: 材齢3日で脱型。後に気中養生。
*2: 材齢10日まで透水シート貼付け養生。



背景

課題

構成

実験Ⅰ

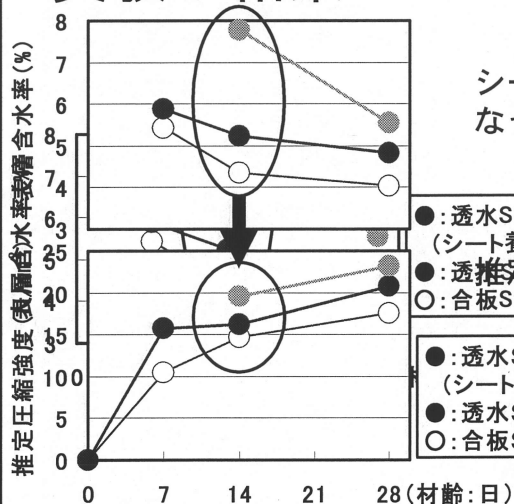
実験Ⅱ

実験Ⅲ

実験Ⅳ

結論

実験Ⅳ結果



シート養生率を使用した場合、試験体内部の含水率が高くなる。



この結果・・・

推定圧縮強度が低いため、試験体内の水が発散しにくい。

⇒シート養生には乾燥防止効果がある。

背景

課題

構成

実験Ⅰ

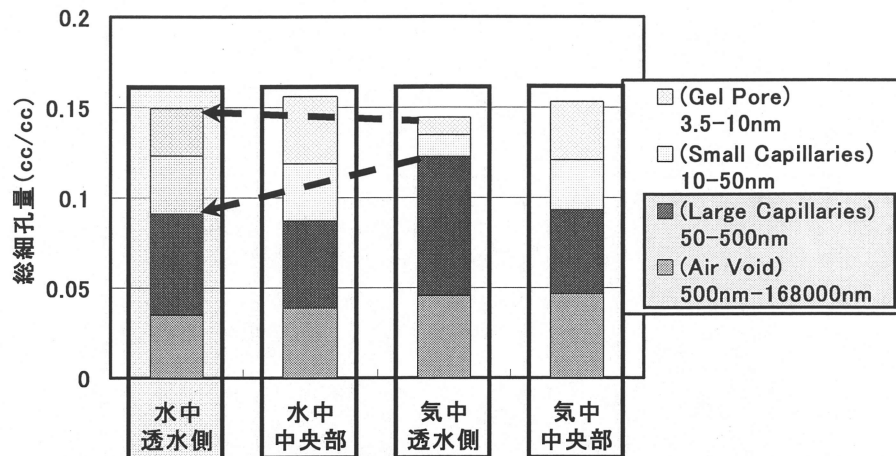
実験Ⅱ

実験Ⅲ

実験Ⅳ

結論

養生による効果(細孔構造の検討)



⇒水中養生の等時養生の強度低減の養生影響を及ぼす。
⇒水中養生に近づける方法が必要である。

背景

課題

構成

実験 I

実験 II

実験 III

実験 IV

結論

結論

- 透水シートの表面張力を低減することによって、透水性能が向上する。
- 透水シートをコンクリート表面に残留させることにより、乾燥防止効果が認められる。

今後の課題

- 高さ方向の強度分布を、充分に改善する方法を検討する必要がある。
- 透水シートの養生性能をさらに向上させる方法を検討する必要がある。

背景

課題

構成

実験 I

実験 II

実験 III

実験 IV

結論

透水シートの表面張力に着目した透水性型枠工法の改善に関する基礎研究

Fundamental study on influence of surface tension to quality improvement of concrete by permeable form

1.材料施工 -2.モルタル・コンクリートの物性
透水性型枠 透水シート 親水性塗料
水湿し 再振動

○正会員 西川 稔*
正会員 坂本 英輔**
正会員 三島 直生***
正会員 畑中 重光****

Nishikawa Minoru
Sakamoto Eisuke
Mishima Naoki
Hatanaka Shigemitu

1.はじめに

透水性型枠工法は、型枠とコンクリートの間に透水性を有したシート（以下、透水シート）を設置することにより、側圧を利用してコンクリート中の余剰水を型枠の外へ自然排水させる工法である。これによりコンクリート表層部の水セメント比が低下し、表層部が緻密化するため、強度をはじめとするコンクリートの品質を向上させることができる。しかし、透水性型枠工法による品質改善効果には鉛直方向に分布が生じ、側圧の大きい部材の下部では品質改善効果は大きい、側圧の小さい部材の上部では品質改善効果が小さい^{1), 2)}。従って、透水性型枠工法を利用した構造体において、より耐久性を向上させるには、図-1に示すような側圧の小さい型枠上部に特化した改善方法が必要となる。

そこで本研究では、透水シートから余剰水が排水されるメカニズムを明らかにし、構造体上層部での透水性能の改善手法を提案することを目的とする。

本報では、2シリーズの実験を行い、シリーズⅠは透水シートの排水メカニズムを明らかにすることを目的として、水頭高さに注目した。また、シリーズⅡは、構造体上層部での透水性能の改善手法を提案することを目的として、構造体上層部を想定した150×150×150 mmの小型試験体の排水量に注目した。なお、本報の2シリーズの実験は、実大実験（試験体サイズ：1000×400×200 mm）の実験要因を決定するための予備実験という位置付けである。

2.透水シートの排水メカニズム

透水シートから余剰水が排出されるメカニズム（図-2）は、透水シート孔のメニスカスに生じる表面張力（以下、R）がコンクリートの間隙水圧（以下、L）より小さい場合（ $R < L$ ）である。したがって、透水性能

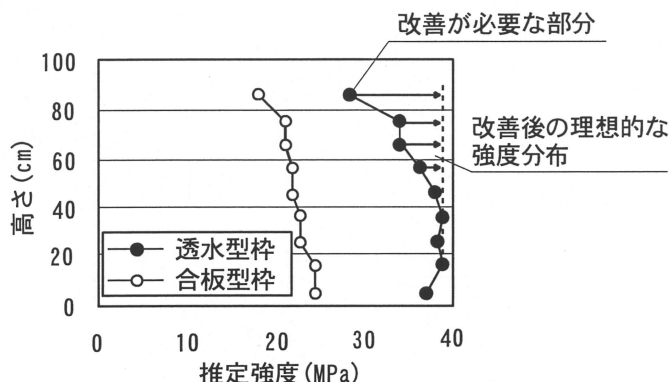


図-1 透水性型枠を利用したコンクリートの強度改善のイメージ図

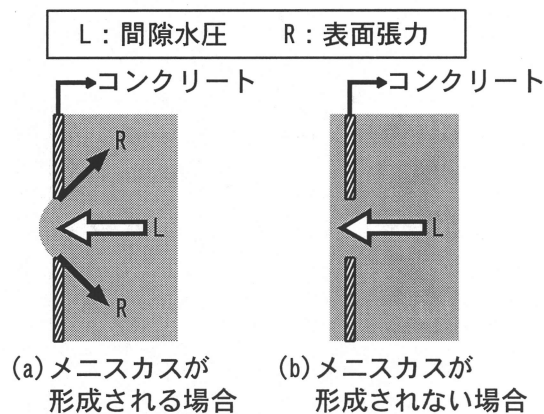


図-2 透水性型枠から余剰水が排出されるメカニズム

表-1 要因および水準

要因	水準
透水シートの孔径(mm)	0.6, 1.2
透水シートの水分状態	乾燥, 湿潤 ^{*1}
親水性塗料	塗布 ^{*2} 、無塗布
再振動 ^{*3}	有、無

[註]*1: 水の粘性は $2\text{Pa}\cdot\text{s}$ (15°C)であった。

*2: 親水塗料(10wt%)の粘性は $5\text{Pa}\cdot\text{s}$ (15°C)であった。

*3: シリーズⅠでは、質量206gの重りを7.5cm自由落下させた。シリーズⅡでは、打設60分後に20秒間の振動を加えた。

* 三重大学大学院工学研究科・大学院生
** (財)三重県建設技術センター・博士(工)
*** 三重大学大学院工学研究科・助教・博士(工)
**** 三重大学大学院工学研究科・教授・工博

Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.
Mie Prefectural Center of Constructional Technology, Dr. Eng.
Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

の改善手法として、透水シート孔のメニスカスに生じる表面張力を小さくする手法、または間隙水圧を大きくする手法が考えられる。

表-1 に、本報の 2 シリーズの実験の要因および水準を示す。実験要因は、透水シートの孔径、透水シートの水分状態、親水性塗料および再振動である。このうち、透水シートの孔径、透水シートの水分状態、親水性塗料は、R を小さくする手法であると想定し、再振動は、L を大きくする手法であると想定した。なお、水および親水性塗料の粘度は、B 型回転粘度計を用いて測定した。

孔径は、従来の 0.62mm 程度から 1.22mm まで拡大したものを試作した(表-2 参照)。透水シートの水分状態は、通常の乾燥した状態で用いるものと、透水シートを霧吹きの水で浸して湿潤状態で用いるものとした。親水性塗料は、透水シートに原液を霧吹きで湿潤状態になるまで塗布した。再振動は、シリーズ I では水頭高さ 4cm の初期状態（透水なし）に質量 206g の重りを 7.5cm 自由落下させた。シリーズ II では、コンクリート打設 60 分後に、型枠表面振動機によって、20 秒間振動を加えた。

3. シリーズ I（水頭高さに注目した実験）

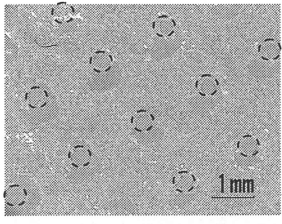
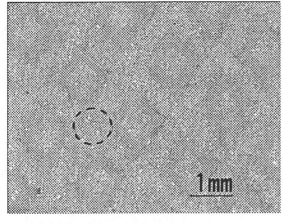
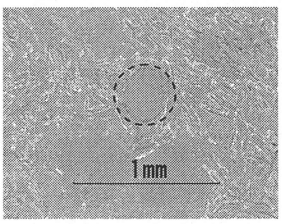
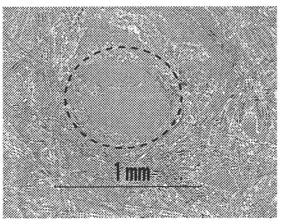
3.1 実験概要

以下に、実験に用いた試験体内訳を示す。

- 1) 孔径の小さい透水シート（孔径小）
- 2) 孔径の大きい透水シート（孔径大）
- 3) 孔径の小さい透水シートを水で湿潤状態にしたもの（孔径小+水湿し）
- 4) 孔径の小さい透水シートに親水性塗料を塗布したもの（孔径小+塗料）
- 5) 孔径の小さい透水シートを使用し、再振動を行ったもの（孔径小+振動）

図-3 に、試験装置の概要を示す。試験方法は、内径 50mm のアクリル管（長さ 1000mm）の下端に透水シートを張りつけたアダプタを取り付け、上部から水を流下させ、透水シート全面から排水が確認されたときの水頭高さを計測した。水の流下開始時は、水の落下

表-2 透水シートの概要

	孔径小透水シート	孔径大透水シート
画像(倍率25)		
孔径(mm)	0.62	1.22
孔間隔(mm)	1.5 × 1.5	4.75 × 4.75
透水シート孔詳細		

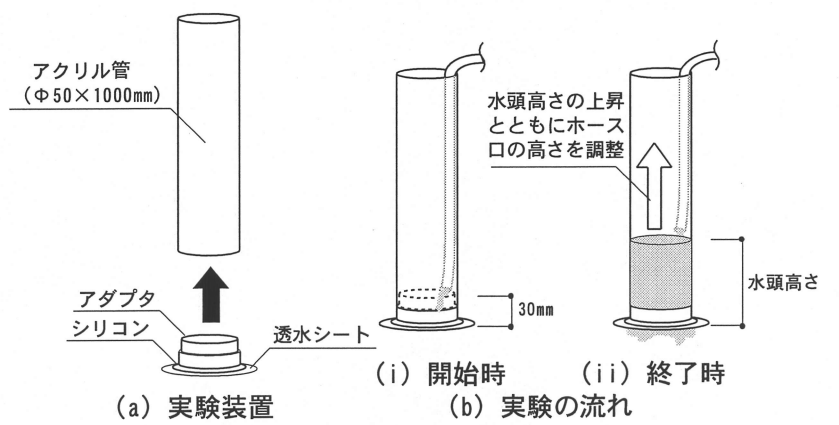


図-3 試験装置の概要（シリーズ I）

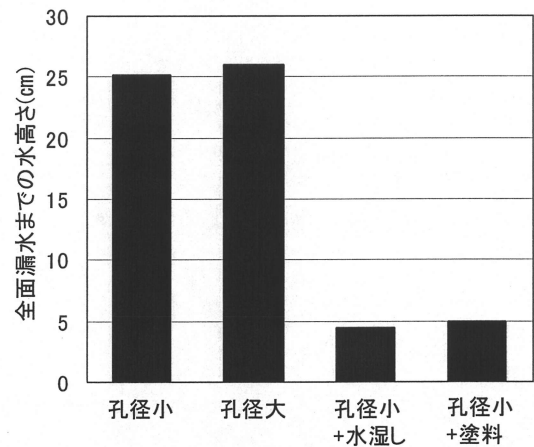


図-4 各種要因が水頭高さに及ぼす影響

エネルギーが直接シートに加わらないように、ホース

の口を透水シート面から 30mm 上部の亚克力管壁に接した状態とし、水頭高さの上昇とともにホースの口を調整した。

3.2 実験結果および考察

図-4 に、各種要因が水頭高さに及ぼす影響を示す。同図によれば、透水シートの孔径の大小で比較すると、水頭高さに大きな差は見られなかった。

透水シートの水分状態で比較すると、透水シートを水で湿潤状態としたものは、乾燥したものと比較して、水頭高さが大幅に小さくなった。これは、透水シートを湿潤状態にすることで、透水シートにメニスカスが形成されにくかったためと考えられる。

親水性塗料の有無で比較すると、親水性塗料を塗布した透水シートは、塗布していないものと比較して、水頭高さが大幅に小さくなった。これは、透水シートに塗布した親水性塗料により水の表面張力が低下したこと、および透水シートが湿潤状態になりメニスカスが形成されにくかったためと考えられる。

振動の有無で比較すると、水頭高さ 4 cm では排水しなかったが、振動を加えると全面透水した。このことから、小さな水頭高さであっても振動を加えると、透水シートから排水されることがわかった。

4. シリーズ II (小型試験体の排水量に注目した実験)

4.1 実験概要

表-3 に、調査を示す。図-5 に、試験装置の概要を示す。150 × 150 × 150 mm の鋼製の型枠に 2 層に分けてコンクリートを打設し、突き棒 15 回突きおよびジ

ッキングによって締固めを行った。そして、材齢 1 日で、脱型および透水シートを取り除いた後、気中養生とした。測定項目は、透水シートから排出された水の重さの時刻歴、最終透水量および打設面の目視観察である。

表-3 調査表

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
20	65	56	185	285	993	801

註) Fc: 目標圧縮強度, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率

W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

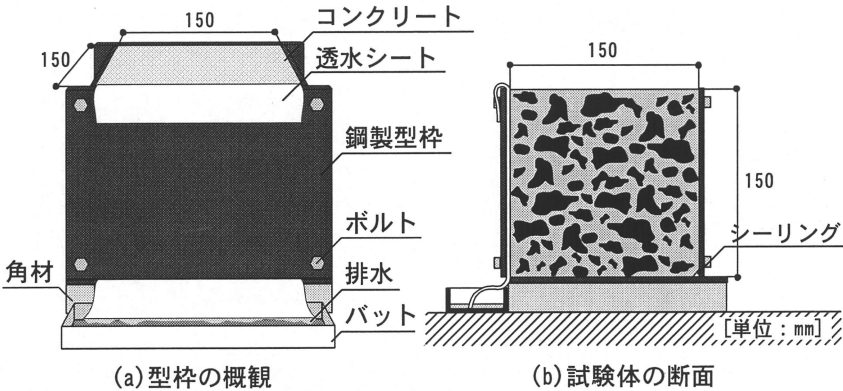


図-5 試験装置の概要 (シリーズ II)

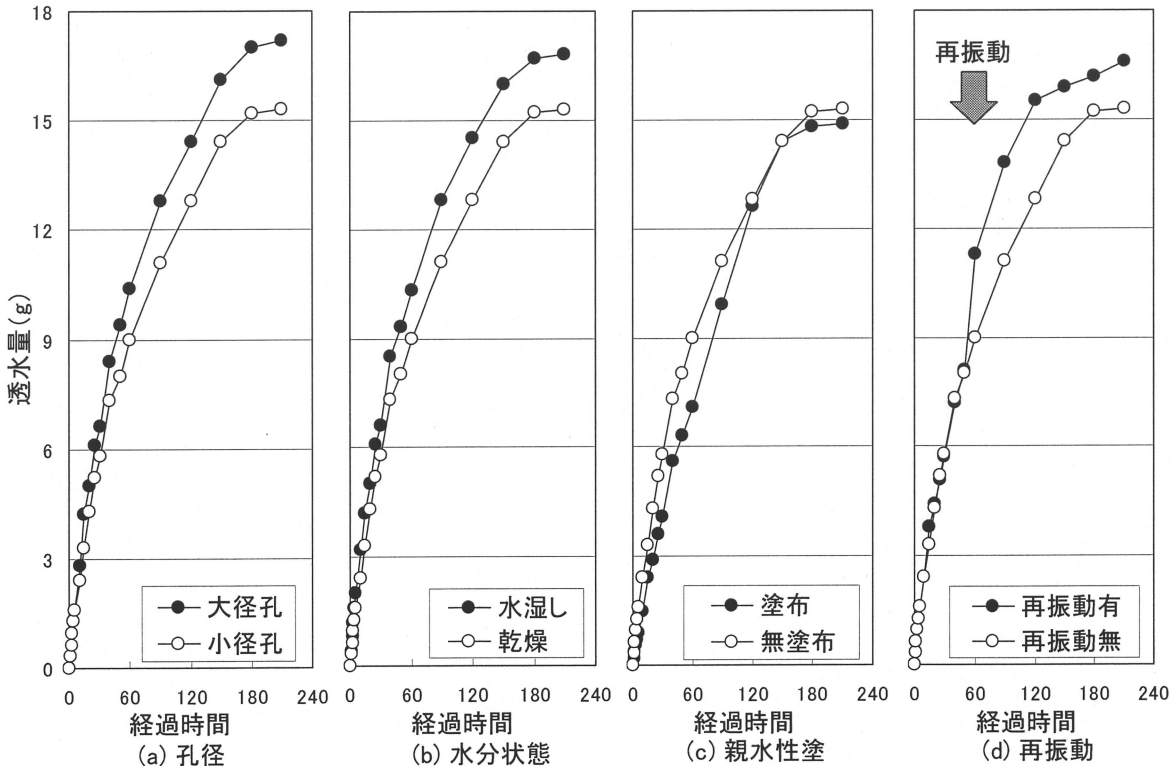
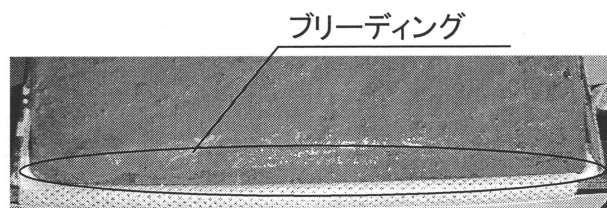
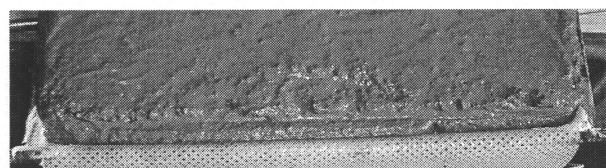


図-6 各種要因が透水量に及ぼす影響



(a) 旧型透水シート



(b) 旧型透水シート+親水塗料

写真-1 透水シート設置面のブリーディング量

4.2 実験結果および考察

4.2.1 排水量の時刻歴

図-6 に、各種要因が透水量に及ぼす影響を示す。同図によれば、透水シートの孔径の大小で比較すると、孔径の大きい透水シートの方が孔径の小さい透水シートに比べて透水量が大きい。

孔径の小さい透水シートを水で湿潤状態としたものは、孔径の大きい透水シートと同じような時刻歴をたどって排水している。このことから、透水シートを水で湿潤状態すると孔径の大きい透水シートと同等の透水性能が得られたと考えることができる。

親水性塗料の有無で比較すると、親水性塗料を塗布した孔径の小さい透水シートは、塗布していないものと比較して、透水量が小さくなった。これは親水性塗料によって透水シート近傍の余剰水の粘性が高くなり、透水時の抵抗が大きくなったためと考えられる。

再振動の有無で比較すると、再振動を加えた 60 分後では、透水量の増加が見られるが、その後の透水量の増加は他と比べて少ない。これは、振動を加えたことによって一時的に間隙水圧が上昇し、余剰水が排水されやすくなったものの、急激に脱水されたためにシート付近が緻密となり、その後は透水しにくくなったためと考えられる。

4.2.2 目視観察

コンクリート打設 90 分後に、目視により各種要因の試験体上部の観察を行ったところ、孔径の小さい透水シートを用いたもの、孔径の大きい透水シートを用いたものおよび孔径の小さい透水シートを水で湿潤状態にしたものでは、あまり差が見られず、ブリーディングが溜まっている状態であった（写真-1(a)参照）。

また、再振動を行ったものでは、他の試験体に比べてブリーディングが多かった。

一方、孔径の小さい透水シートに親水性塗料を塗布したものは、最終透水量自体は少ないが、シート近傍ではブリーディング水はほとんどなかったことから（写真-1(b)参照）、透水性塗料はブリーディングの除去には効果があると考えられる。

5. まとめ

本実験の結果より、以下の知見が得られた。

- 1) シリーズ I によれば、メニスカスの形成が透水性能に影響を及ぼすことが示唆された。
- 2) シリーズ II によれば、孔径の大きい透水シートは、排水性能の改善効果が得られることが明らかになった。
- 3) 透水シートの孔径、透水シートの水分状態および再振動によって排水性能の改善が見られたことから、実大実験の要因とする。なお、孔径の小さい透水シートに親水性塗料を塗布したものは、排水性能の改善効果は見られなかったが、ブリーディング水を減少させる可能性があることから要因として採用する。

以上の結果に基づき、実大透水試験の要因を決定し、構造体上層部での品質改善手法を提案する予定である。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、上村貴正君（三重大学）と和藤浩氏（三重大学技術専門員）の助力を得た。また、本実験に使用した透水シートは、野々目洋氏（株式会社戸田建設）から提供して頂いた。付記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 竹田宣典，平田隆祥，十河茂幸，芳賀孝成：透水シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.11，No.1，pp.683-688，1989
- 2) 前田哲宏，松田孝允，三島直生，畑中重光：透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.345-350，2002
- 3) 三島直生，畑中重光，小林広美，犬飼利嗣：透水性型枠を使用したコンクリートの性能改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.363-368，2004
- 4) 石原誠一郎，立花和彦，崎山和隆，木村建治，吉川元清：脱水・脱気型枠（ドライフォーム）を転用施工したコンクリートの耐久性に関する研究，浅沼組技術研究報，No.3，pp.37-51，1991
- 5) 畑中重光，服部宏己，三島直生，坂本英輔：圧密理論を適用した真空脱水コンクリート中の圧縮強度分布の発生メカニズムに関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 596 号，pp.1-8，2005

透水シートの排水メカニズムに着目した透水性型枠工法の改善に関する基礎的研究

正会員 ○西川 稔*1
同 坂本英輔*2
同 三島直生*3
同 畑中重光*4

透水性型枠 透水シート 親水性塗料
水湿し 再振動

1. はじめに

透水性型枠工法は、型枠とコンクリートの間に透水性を有したシート（以下、透水シート）を設置することにより、側圧を利用してコンクリート中の余剰水を型枠の外へ自然排水させる工法である。これによりコンクリート表層部の水セメント比が低下し、表層部が緻密化するため、強度をはじめとするコンクリートの品質を向上させることができる。しかし、透水性型枠工法による品質改善効果には鉛直方向に分布が生じ、側圧の小さい部材の上部では品質改善効果が小さい。従って、透水性型枠工法を利用した構造体において、より耐久性を向上させるには、図-1 に示すような側圧の小さい型枠上部に特化した改善方法が必要となる。

本報では、2 シリーズの実験を行い、シリーズⅠは透水シートの排水メカニズムを明らかにすることを目的として、水頭高さに注目した。また、シリーズⅡは、構造体上層部での透水性能の改善手法を提案することを目的として、構造体上層部を想定した 150×150×150 mm の小型試験体の排水量に注目した。

2. 透水シートの排水メカニズム

透水シートから余剰水が排出されるメカニズム（図-2）は、透水シート孔のメニスカスに生じる表面張力（以下、R）がコンクリートの間隙水圧（以下、L）より小さい場合（ $R < L$ ）である。したがって、透水性能の改善手法として、透水シート孔のメニスカスに生じる表面張力を小さくする手法、または間隙水圧を大きくする手法が考えられる。

3. 実験要因

表-1 に、本報の 2 シリーズの実験の要因および水準を示す。表-2 にシリーズⅡに使用したコンクリートの調査表を示す。図-3 にシリーズⅠの試験装置概要、図-4 にシリーズⅡの試験装置概要を示す。実験要因のうち、透水シートの孔径、透水シートの水分状態、親水性塗料は、R を小さくする手法であると想定し、再振動は、L を大きくする手法であると想定した。

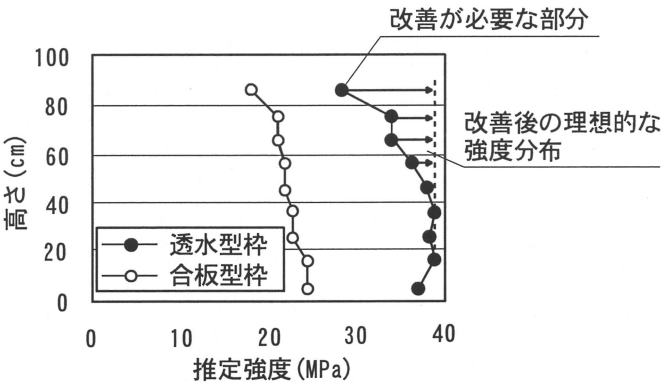


図-1 透水性型枠を利用したコンクリートの強度改善のイメージ図

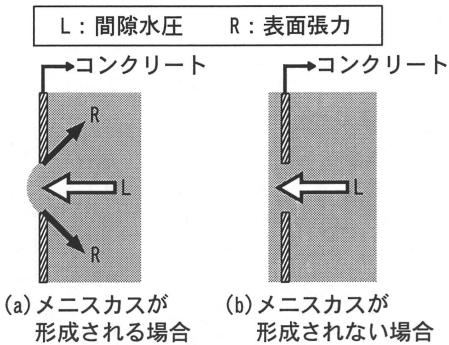


図-2 透水性型枠から余剰水が排出されるメカニズム
表-1 要因および水準

要因	水準
透水シートの孔径(mm)	0.6, 1.2
透水シートの水分状態	乾燥, 湿潤
親水性塗料	塗布*1、無塗布
再振動*2	有、無

[註]*1: 親水性塗料(10wt%)の粘性は5Pa・s(15℃)であった。
*2: シリーズⅠでは、アクリル管の上端に蓋をし、その上に質量206gの重りを7.5cm自由落下させた。
シリーズⅡでは、打設60分後に20秒間の振動を加えた。

表-2 調査表

Fc (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
20	65	56	185	285	993	801

[註]Fc: 目標圧縮強度, W/C: 水セメント比, s/a: 細骨材率
W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

シリーズⅠでは、内径 50mm のアクリル管（長さ 1000mm）の下端に透水シートを張りつけたアダプタを取り付け、上部から水を流下させ、透水シート全面から排水が確認されたときの水頭高さを計測した。

シリーズⅡでは、150×150×150 mm の鋼製の型枠にコンクリートを打設し、締固めを行った後、透水シートから排出される水の重量の時刻歴を測定した。

4. 実験結果

4.1 排水開始時の水頭高さ（シリーズⅠ）

図-5 に、各種要因が排水開始時の水頭高さに及ぼす影響を示す。同図によれば、透水シートの孔径で比較すると、水頭高さに大きな差は見られなかった。

透水シートの水分状態で比較すると、透水シートを水で湿潤状態としたものは、水頭高さが大幅に小さくなった。これは、湿潤状態にすることで透水シートにメニスカスが形成されにくかったためと考えられる。

親水性塗料の有無で比較すると、親水性塗料を塗布した透水シートは、水頭高さが大幅に小さくなった。これは、透水シートに塗布した親水性塗料により水の表面張力が低下したこと、および透水シートが湿潤状態になりメニスカスが形成されにくかったためと考えられる。

4.2 排水量の時刻歴（シリーズⅡ）

図-6 に、各種要因が透水量に及ぼす影響を示す。同図によれば、孔径の大きい透水シートの方が孔径の小さい透水シートに比べて透水量が大きい。

孔径の小さい透水シートを水で湿潤状態としたものは、孔径の大きい透水シートと同じような時刻歴をたどって排水している。このことから、透水シートを水で湿潤状態にすると孔径の大きい透水シートと同等の透水性能が得られたと考えることができる。

親水性塗料の有無で比較すると、親水性塗料を塗布した孔径の小さい透水シートは、塗布していないものと比較して、透水量が小さくなった。これは親水性塗料によ

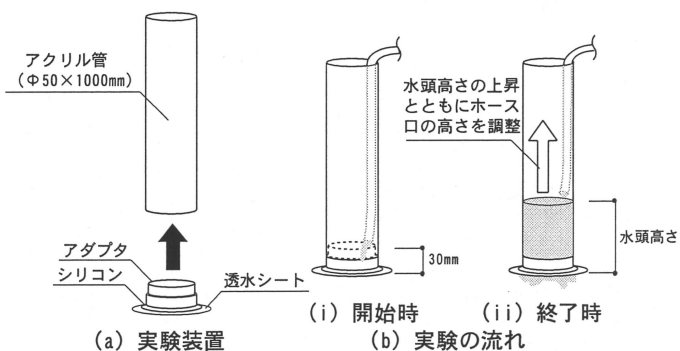


図-3 試験装置の概要（シリーズⅠ）

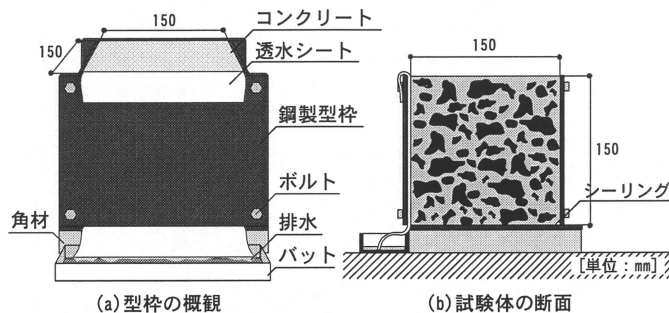


図-4 試験装置の概要（シリーズⅡ）

って透水シート近傍の余剰水の粘性が高くなり、透水時の抵抗が大きくなったためと考えられる。

再振動の有無で比較すると、再振動を加えた 60 分後では、透水量の増加が見られるが、その後の透水量は他と比べて少ない。これは、振動を加えたことによって一時的に間隙水圧が上昇し、余剰水が排水されやすくなったものの、急激に脱水されたためにシート付近が緻密となり、その後は透水しにくくなったためと考えられる。

5. まとめ

本実験の結果より、以下の知見が得られた。

- シリーズⅠによれば、メニスカスの形成が透水性能に影響を及ぼすことが示唆された。
- 透水シートの孔径拡大、透水シートの水分状態および再振動によって排水性能の改善が見られた。

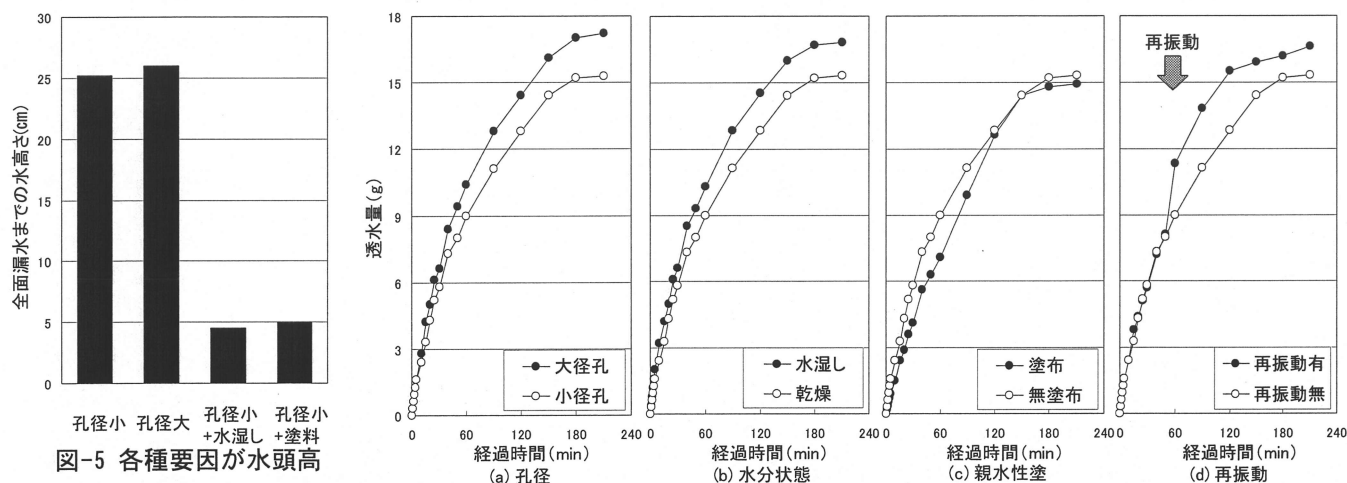


図-6 各種要因が透水量に及ぼす影響

*1 三重大学大学院工学研究科・大学院生
 *2 (財) 三重県建設技術センター・博士(工)
 *3 三重大学大学院工学研究科・助教・博士(工)
 *4 三重大学大学院工学研究科・教授・工博

*1 Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.
 *2 Mie Prefectural Center of Constructional Technology, Dr. Eng.
 *3 Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
 *4 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

透水シートの養生性能に着目した透水性型枠工法の品質改善に関する基礎的研究

Fundamental study on influence of curing performance by permeable form on quality improvement of concrete

1.材料施工 -2.モルタル・コンクリートの物性
透水性型枠 養生シート 中庸熱セメント
反発度 含水率 透気係数

○正会員 西川 稔*
正会員 坂本 英輔**
正会員 三島 直生***
正会員 畑中 重光****

Nishikawa Minoru
Sakamoto Eisuke
Mishima Naoki
Hatanaka Shigemitsu

1.はじめに

透水性型枠工法は、型枠とコンクリートの間に透水性を有したシート（以下、透水シート）を設置することにより、側圧を利用してコンクリート中の余剰水を型枠の外へ自然排水させる工法である。これによりコンクリート表層部の水セメント比が低下し、表層部が緻密化するため、強度をはじめとするコンクリートの品質を向上させることができる。しかし、一般にコンクリートは、養生条件の良し悪しによって強度および耐久性に大きく差が出ることがわかっている。そこで本研究では透水シートの乾燥防止性能に着目し、透水シートを封かん養生シートとして併用する事を検討した。

また透水性型枠工法の課題として、品質改善効果には鉛直方向に分布が生じ、側圧の大きい部材の下部では品質改善効果は大きい、側圧の小さい部材の上部では品質改善効果が小さい^{1), 2)}という問題点がある。従って、透水性型枠工法を利用した構造体において、より耐久性を向上させるには、図-1 に示すような側圧の小さい型枠上部に特化した改善方法が必要となる。そこで本研究では、スランプの小さいコンクリート（側圧が小さくなるコンクリート）を使用することによって側圧の分布を小さくし、内部振動機による加振時間を長くすることによって、強度分布を低減できないかを検討した。

表-1 コンクリートの調査表

調査番号	W/C (%)	設計値					単位量 (kg/m ³)				混和剤添加率 (%)	
		F _c (MPa)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)		W	C	S	G	SP/C	AE/C
①	55	33.6	15	5	43		170	309	796	1038	1.8	0.7
②	55	33.6	5	5	43		170	309	796	1038	0	4.0

表-2 使用材料

使用材料	特性
セメント	中庸熱ポルトランドセメント ($\rho=3.21\text{g/cm}^3$)
細骨材	町屋川産川砂:硬質砂岩 ($\rho=2.64\text{g/cm}^3$)
粗骨材	志摩産砕石:硬質砂岩, $\phi_a=13\text{mm}$ ($\rho=2.68\text{g/cm}^3$)
混和剤	AE減水剤, AE剤

* 三重大学大学院工学研究科・大学院生
** (財) 三重県建設技術センター・博士 (工学)
*** 三重大学大学院工学研究科・助教・博士 (工学)
**** 三重大学大学院工学研究科・教授・工博

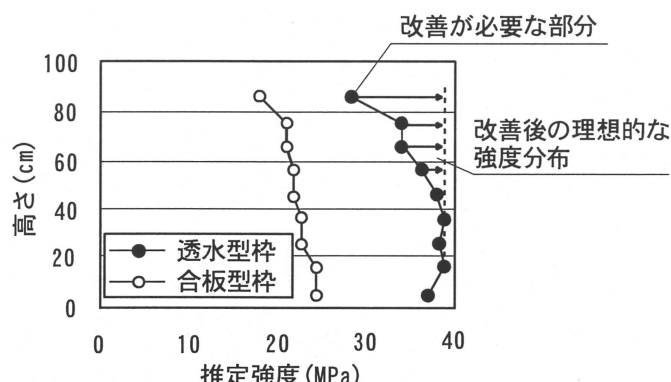


図-1 透水性型枠を利用したコンクリートの強度改善のイメージ図

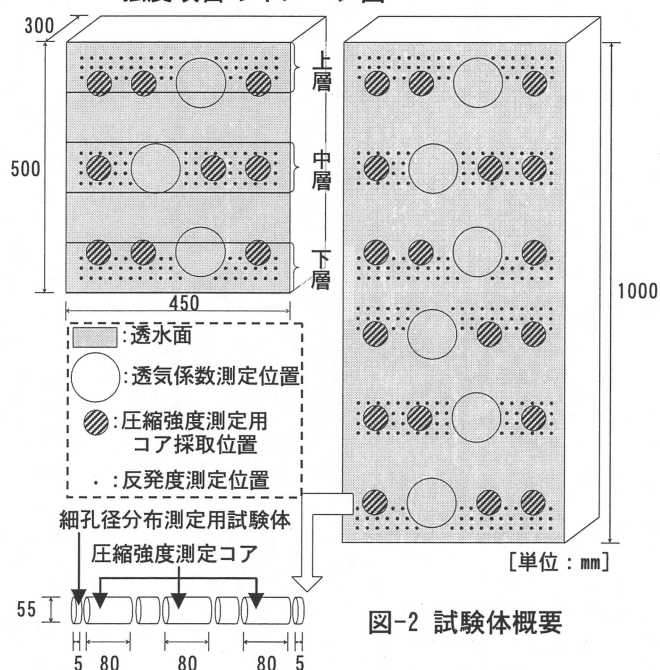


図-2 試験体概要

2. 実験概要

2.1 コンクリートの調合および使用材料

コンクリートの調合表を表-1 に示す。使用材料を表-2 に示す。セメントは中庸熱ポルトランドセメントを使用した。粗骨材最大寸法は、55 mmの圧縮強度測定用コア試験体を採取することを考慮して、13 mmのものを使用した。

Graduate Student, Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ.
Mie Prefectural Center of Constructional Technology, Dr. Eng.
Assist. Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.

2.2 試験体概要と要因および水準

試験体の概要を図-2 に示す。本研究では試験体の1面から透水を行っている。要因および水準を表-3 に示す。下線のある水準は基本水準を示し、特定の要因を変化させる際、その他の要因は下線の基本水準に固定した。実験要因は、型枠の種類、スランプ、初期養生方法および試験体高さである。透水シートは不織布と有孔フィルムの二層一体構造のものを使用し、孔径は従来の0.62 mmのものを使用した。コンクリートは、1層あたりの打込み高さを25 cmとして打設し、各層毎にスランプ15 cmの試験体は25秒間、スランプ5 cmの試験体は40秒間、内部振動機により加振した。

2.3 試験体の養生条件

コンクリートの打設は、6月初旬に行い、材齢3日で脱型を行った。その後は直立させた状態で、実験室内で気中養生とした。シート貼付養生を行う試験体は透水シートをそのまま設置し、材齢10日でシートを撤去し、その後は他の試験体と同じく気中養生とした。

2.4 測定項目および方法

測定項目および方法の一覧を表-4 に示す。

透水量は、型枠に敷設した透水シートの下端から排水される水をバットで採取し、貯まった水を測定時間毎に蓋付の容器に移し、測定した。

反発度は各層、各材齢において14点ないし16点で測定した。その際、測定点が各材齢で分散するよう留意した。

表層付近の含水率（カタログ値では表面から深さ4 cm付近）は高周波式コンクリート・モルタル水分計を用いて、各層各材齢において4点で測定した。測定位置は、図-2 に示す圧縮強度測定用コア採取位置上と透気係数測定位置上である。

透気係数は、トレント法³⁾を用いて測定した。

圧縮強度測定用コア試験体は、材齢30日に各層から3本コアを採取後、表層5 mmを細孔構造測定用として使用し、残りの部分を3層にカットしたものとした。また圧縮強度の測定材齢は5週目とした。

細孔量測定用試験体は、圧縮強度測定用コア試験体と同時に作製し、72時間真空乾燥を行った後、水銀圧入式ポロシメーターを使用して測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 基礎性状

本研究で使用したコンクリートは、調合番号①の荷卸し時のスランプが16.5 cm、空気量が4.8%であった。調合番号②の荷卸し時のスランプが4.5 cm、空気量が4.1%であった。円柱試験体の材齢28日における圧縮強度は、調合

表-3 要因と水準

要因	水準
型枠の種類	透水型枠, 通常型枠
スランプ ^{*1}	15 cm, 5 cm
初期養生方法	気中養生 ^{*2} , シート貼付け養生 ^{*3}
試験体高さ	500 mm, 1000 mm

[注] 〃: 基本水準

*1: スランプにより打設時の振動時間を変化させる。

*2: 材齢3日で脱型後実験室内にて気中養生。

*3: 脱型後は材齢10日まで透水シート貼付け養生。

表-4 測定項目および方法

試験項目	試験方法
スランプ	JISA1101に準拠
空気量	JISA1128に準拠
ブリーディング量	試験体上面からスポイトを用いて採取 蓋付の容器に収集し、蒸発を防ぐ
透水量	試験体下面からバットを用いて採取 蓋付の容器に収集し、蒸発を防ぐ
反発度	P型ハンマーによる 試験材齢7日, 14日, 28日
表面水率	高周波式水分計による 試験材齢7日, 14日, 28日
透気係数	トレント法による 試験材齢28日
圧縮強度	壁試験体: 試験材齢35日 円柱試験体: 試験材齢28日
細孔構造	水銀圧入式ポロシメーターによる

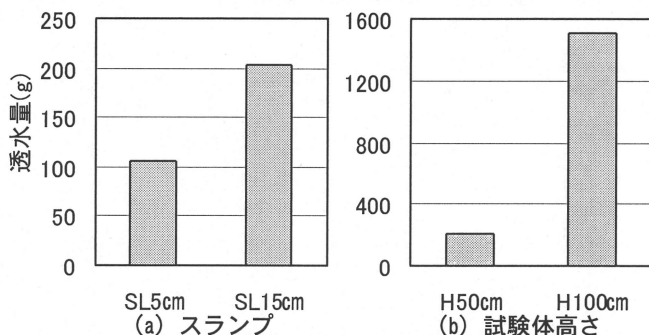


図-3 透水量の測定結果

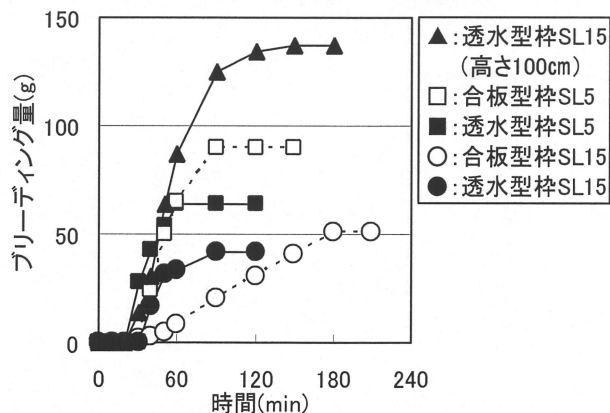


図-4 ブリーディング曲線

番号①において、標準水中養生で24.2N/mm²、気中養生で17.2N/mm²であった。調合番号②では標準水中養生で19.7N/mm²、気中養生で15.7N/mm²であった。

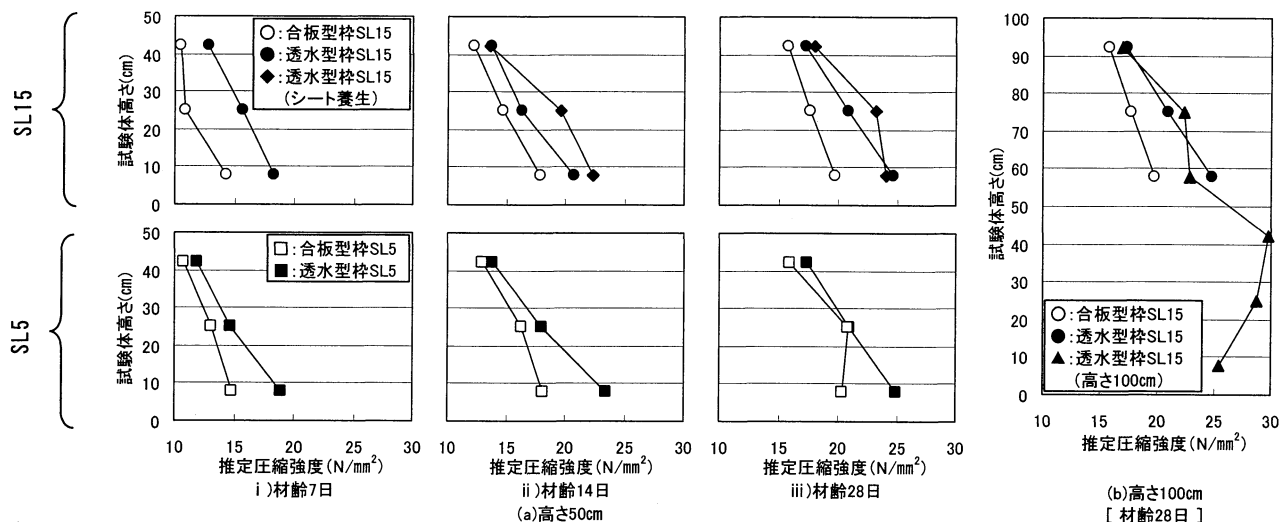


図-5 反発度による推定圧縮強度

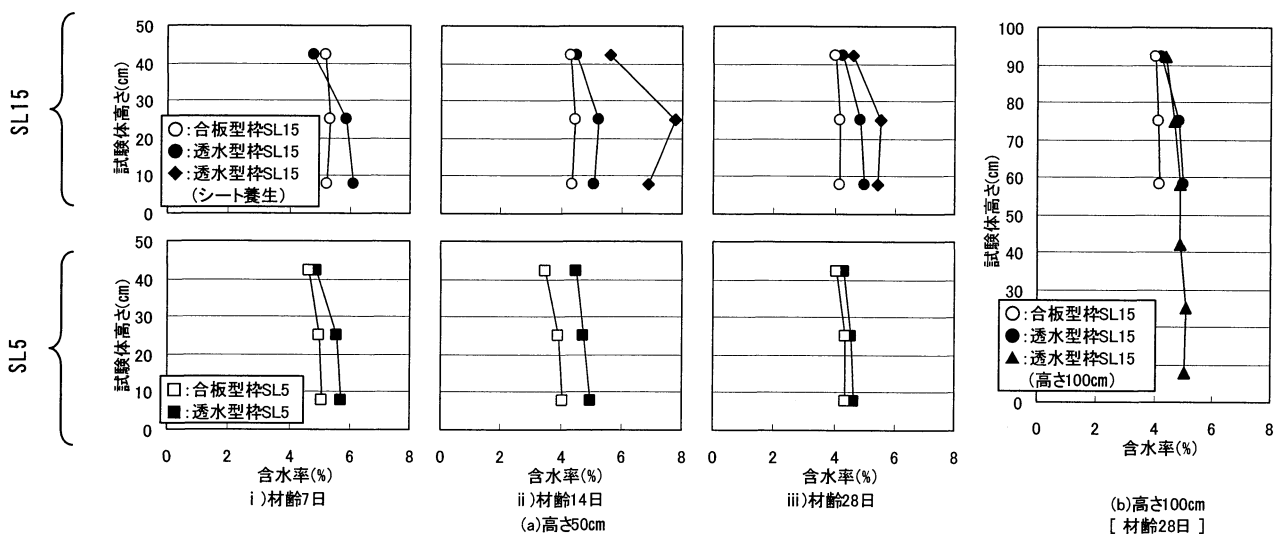


図-6 表層付近の含水率

3.2 透水量およびブリーディング量

透水量の測定結果を図-3 に示す。透水量はスランプの小さい試験体で一番少なく、試験体高さが 1000 mm の試験体で最も大きくなっている。

ブリーディング試験結果を図-4 に示す。SL5 cm の方が SL15 cm よりもブリーディング量が多くなっている。これは SL5 cm の方が、加振時間が長いことによるものと考えられる。また透水シートを使用した試験体はブリーディング量も少なくなっている。

3.3 反発度による推定圧縮強度

各材齢における反発度から推定した圧縮強度を図-5 に示す。これによると、透水シートを使用すると全ての試験体において反発度は改善された。また、シート貼付養生を行った試験体において、材齢 28 日における反発度が最大となっている。これは透水シートには次節で述べるような乾燥防止性能があるためと考えられる。

3.4 表層部付近の含水率

各種要因と各材齢における表面水率を図-6 に示す。これによると材齢によらず、透水シートを用いた方が含水率は高くなっている。また、材齢 10 日まで透水シートを貼ったまま養生したシート養生供試体では、材齢 14 日に他の要因と比較してかなり高くなっている。これにより、透水シートには乾燥防止性能があることがわかる。

3.5 透気係数

材齢 28 日における透気係数を図-7 に示す。透水面の下層部において透気係数が低くなっているが、全体的に他の文献による報告³⁾と比べて本試験結果の値は極端に大きく、従来のトレントの提案している品質評価指標(優, 良, 一般, 劣, 極劣の 5 段階評価)では、試験体高さ 1m の試験体の最下層を除いて劣, 極劣の領域となる。この原因としては、セメントに中庸熱セメントを用いたにもかかわらず、材齢 3 日で脱型し、気中養生としたためと考えられる。よって、高耐久なコンクリートを作るためには、封かん養生期間を延長したり、湿潤養生期間を設

けるなどの対処が必要と考えられる。

3.6 コア試験体の圧縮強度

コア試験体の圧縮強度は、全ての試験体においてシート側、中央部、合板側で明確な差異は見られなかった。これは、透水シートによる品質改善効果がごく表層に限られるためと考えられる。一例として、基本水準の試験体のコア圧縮強度を図-8 に示す。

3.7 細孔径分布

細孔径分布の測定結果を図-9 に示す。これによると、透水シートを用いることによって細孔量は減少している。

4. まとめ

本研究の結果より、以下の知見が得られた。

- 1) 透水シートによって表層部分の品質は改善されることが確認できた。
- 2) 100cm の試験体の上層部と 50 cm の試験体は、全ての測定項目において、概ね同じ傾向を示した。これにより試験体高さの低い試験体を構造体の上層部として考えることの妥当性が示された。
- 3) シート養生の効果は、反発度、表層含水率、透気係数、総細孔量の測定結果で見られた。
- 4) スランプ 15 cm と 5 cm の試験体で比較すると、反発度、含水率では差は見られなかった。また透気係数と総細孔量の項目においては、上中層で品質が悪くなることが示唆された。

5. 今後の課題

今回の研究においては、透水型枠工法を使用した際の上下層での反発度の差を低減するには至らなかった。よってその他の方法でこの課題を解決する提案をする必要がある。また、養生シートとして利用するには、さらに保水性能を高める工夫をする必要がある。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、内田寿久氏（安芸砂利）の助力を得た。また、本実験に使用した透水シートは、野々目洋氏（株式会社戸田建設）から提供して頂いた。本研究は原子力発電所施設鉄筋コンクリート工事研究委員会基礎研究 WG の研究の一環として行った。本実験で使用した中庸熱セメントは太平洋セメント株式会社よりご提供いただいた。付記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 竹田宣典，平田隆祥，十河茂幸，芳賀孝成：透水シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.11，No.1，pp.683-688，1989
- 2) 前田哲宏，松田孝允，三島直生，畑中重光：透水性型枠を使用したコンクリートの表層および内部強度性状に及ぼす再振動締固めの影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.345-350，2002

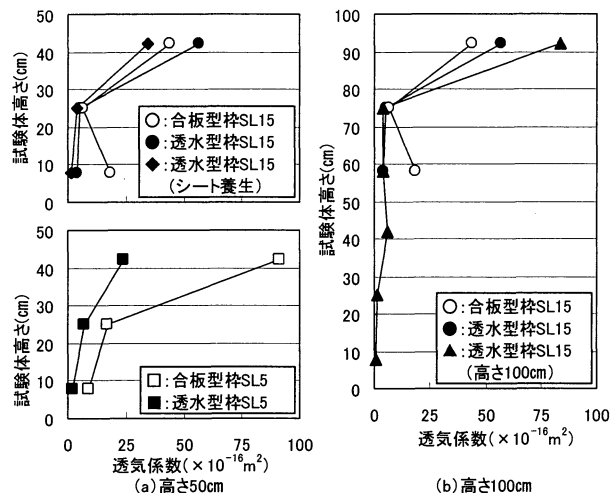


図-7 透気係数

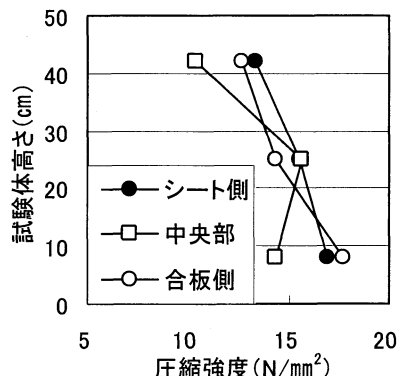


図-8 基本水準におけるコア試験体圧縮強度分布

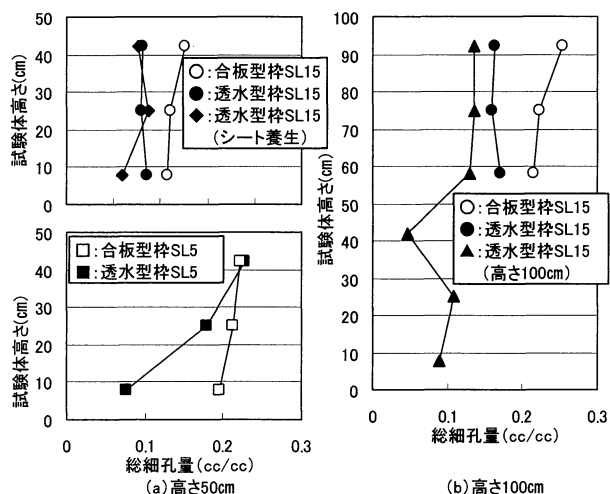


図-9 総細孔量

- 3) 竹中寛，末岡英二，安田正雪：透水型枠工法を用いたコンクリートの表面品質の改善に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.955-960，2009
- 4) 三島直生，畑中重光，小林広美，犬飼利嗣：透水性型枠を使用したコンクリートの性能改善，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.363-368，2004
- 5) 古市護，三島直生，畑中重光：透水・脱水工法を併用したコンクリート鉛直部材表層部の品質改善，日本建築学会東海支部研究報告集，第46号，pp.109-112，2008