

波板スレートの経年劣化に関する研究 (その2: 化学および物理特性の変化)

○二宮 邦夫 *1
長谷川 哲也 *2
畑中 重光 *3
谷川 恭雄 *4

1. はじめに

前報(その1)で報告したように、波板スレート断面は表層からの若干の減量が見られたのみで、密度も比重もほとんど新品当初から変化していない。本報(その2)では引き続き、経過年数にともなう吸水性の変化、材料の断面内部の化学的变化、曲げ強さおよび衝撃強さの変化について述べる。

2. 化学特性の変化

2.1 経年にもなう吸水速度の変化

屋根材には高い遮水性能が要求される。経過年数と吸水速度の関係を調べるために、外部(上側)からの吸水量を経時的に測定した。ここでは、同じ経過年数で、暴露された板と、暴露されていない重ね下部の板を併せて試験した。

(1) 試験方法

- ・供試体種別: 新品、経過年数の異なるスレート(10年、20年、30年、35年)の暴露部と重ね下部
- ・供試体寸法: 20mm×50mm
- ・供試体作成方法: 寸法切りした試験片を100~110℃で2時間乾燥後、試験片の側面と裏面をパラフィンでシールして重量を測定した。
- ・試験方法: 常温の水に浸漬して、所定時間(1, 3, 9, および24時間後)に引き上げて、表面の付着水を濡れウェスで拭き取り、重量を測定して吸水重量を求めた。

(2) 試験結果

図-1および2に、それぞれ重ね下部および暴露部の吸水速度を示す。なお吸水率は次式で求めた。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{\text{吸水重量} - \text{初期重量}}{\text{初期重量}} \times 100$$

新品の場合、浸漬約3時間までは吸水が激しく、9時間を越えた後はゆっくりと吸水する。

重ね下部の吸水速度を示した図-1によれば、新品および10年経過したものでは、およそ9時間まで吸水率の増加が著しく、その後の増加率は小さくなる。一方、施工後30年および35年経過したものでは、新品および10年経過したものに比べて、吸水速度は遅く、24時間後の吸水率も小さい。すなわち、30年経過品の吸水率は新品に比べ1時間後では30%、3時間後では2

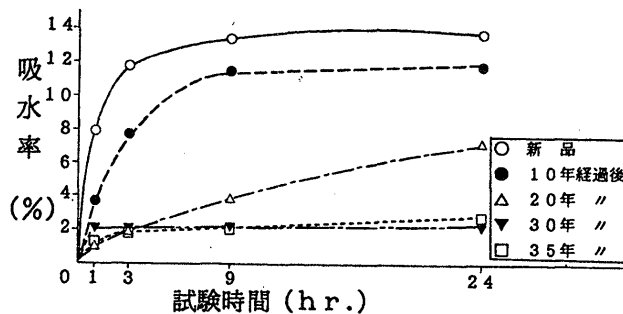


図-1 重ね下部の吸水速度

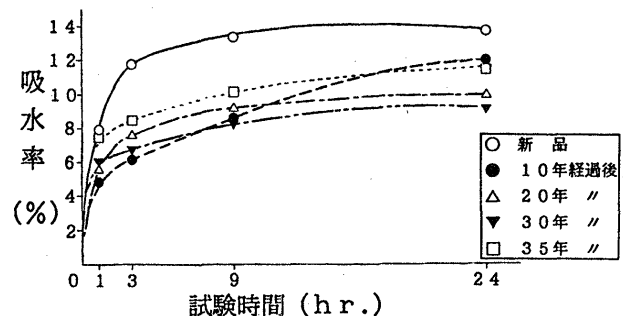


図-2 暴露部の吸水速度

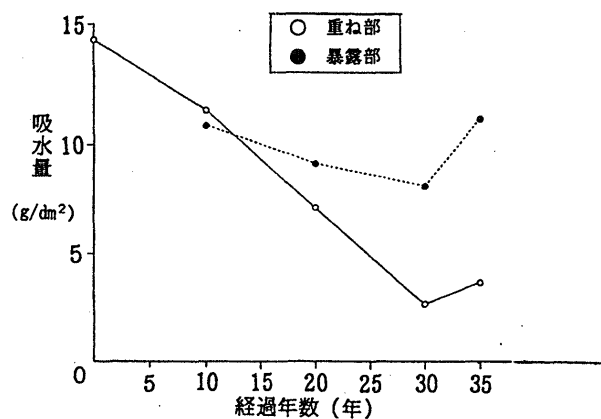


図-3 経過年数と吸水量の関係(24時間後)

0%、9および24時間後では19%となっている。また24時間後の吸水率そのものは約2%と極めて小さい値となっている。

暴露部の吸水速度を示した図-2によれば、暴露部では重ね下部とまったく傾向が異なることがわかる。すなわち、経過年数によって若干数値的な違いはあるものの、

*1 トヨタ自動車(株)プラント・エンジニアリング部
*3 三重大学工学部建築学科助教授

*2 日本診断設計(株)
*4 名古屋大学工学部建築科教授

いずれの板も新品と同様に約3時間までは吸水が激しく、9時間を越えた後はゆっくりと吸水する。新品に比べ30年経過品の場合、1時間後では約65%、9時間後では約52%、24時間後では約57%と、どの時間でも新品に対する割合がほぼ等しく、吸水速度の傾向はほぼ同じであると言える。24時間後の吸水率そのものは約8%で、重ね下部に比べてかなり大きい。

図-3に、経過年数と24時間後の単位面積あたりの吸水量との関係を示す。図によれば、少なくとも30年までは暴露部も重ね下部も吸水量は下がり続けている。以上の結果のうち、30年ものの重ね下部の24時間後の吸水率2%（図-1参照）は外装材として極めて良好な値であり、この点だけをとりえれば、波板スレートは経年とともに性能が向上する材料とも言える。この原因については4.1項で考察する。

2.2 経年と断面方向のPH変化

出荷当時の波板スレートは、他のセメント水和物と同様に強アルカリを示すが、経年とともに空気中の炭酸ガスと反応して表層から序々に内部に向かって炭酸化が進行してゆく。本試験では経年で断面方向のPHがどのように変化するかを調べた。

(1) 試験方法

新品、施工後10年、20年および30年の4種類について、暴露部（山頂部分）を試験対象とした。試験では表面から内部に向かって1mm、2mm、3mm、4mm、5mmおよび6mmの6層の部分とを別々に削り取り、その内の1gを100mlの純水に入れて常温（23℃）で30分攪拌し、PHメーターで測定した。

(2) 試験結果

図-4に示すように、新品では全断面においてPHが12.2であったが、他は経過年数にしたがってPHが低くなっている。経過年数10年と30年のものは室内側から中央まではほとんど同じPHであるが、中央からは外部に向かってPHが次第に低くなって、おり外部表面のPHが一番低い。

経過年数10年のものの表層のPHは10.7で、30年ものの表層では10.0となっている。中央部は表層部よりPHが若干大きく、コンクリートなどで一般に言われている水酸化カルシウムの不溶解域のPH10.0以下となったのは、経年30年の表層のみであった。

2.3 経年にもなう断面方向の化学成分の変化

前述したPHの変化の主要因と思われる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の CaCO_3 への変化を調べた。

(1) 試験方法

表-1に示す部分から削り取った粉末について、X線回折分析装置を用いて $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および CaCO_3 の分析を行った。

(2) 試験結果

図-5に示すように、新品のものでは表層でも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が見られたが、15年経過したものでは板の表層は

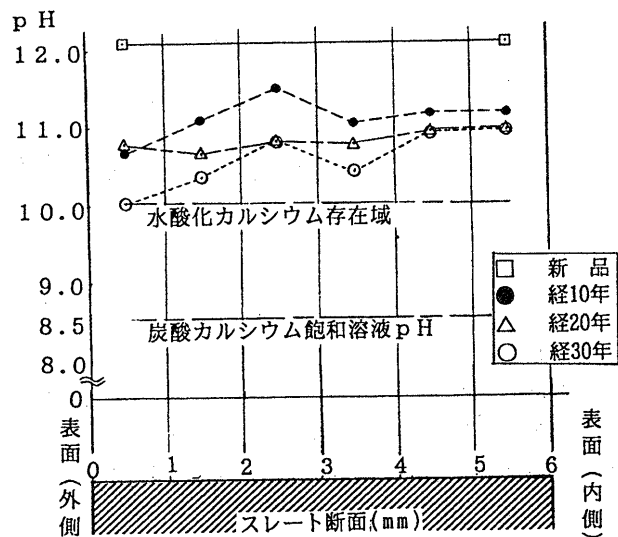


図-4 スレートの深さ方向に対するpH測定結果

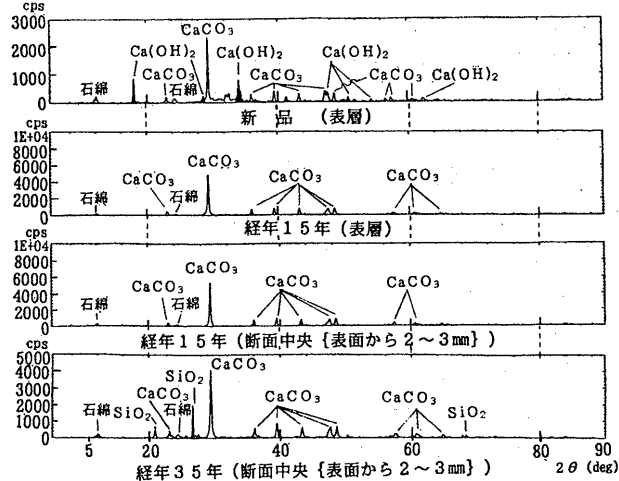


図-5 経年と化学成分の変化（粉末X線回折）

表-1 試料の採取位置

経年	部分	外部表層からの位置		
新品		0～1mm		
15年	暴露部	0～1mm	1～2mm	2～3mm
35年	暴露部	0～1mm	1～2mm	2～3mm

表-2 試験数

経年	4	6	10	14	21	22	24	25	26	27	28	29	30	31	35
試験数	3	6	9	3	27	10	9	29	6	9	12	3	27	9	27

もとより、板断面の中央でも CaCO_3 しか見られず、施工後35年のものでも同じであった。施工後35年のものでは SiO_2 が見られたが、これは、当時メーカーによっては増量と強度向上のために珪砂の混入を行っていたことが原因と思われる。なお、この混入は昭和47年頃まで行われており、これ以後は加工性の点で現在の調査に変更されている。

3. 物理特性の変化

3.1 経年にもなう曲げ破壊強度の変化

工場等の屋根は、建物の中に雨水を入れないといった

基本的な性能の他に、各種施設の設置やメンテナンス用通路としての強度も必要とされる。ここでは一般に強度の指標とされる曲げ破壊強度の経年による変化を調べた。

(1) 試験方法

供試体種別（経過年数）と試験数を表-2に示す。ここで、工場によって採取の条件が異なっていたり、施工時期が多年度に渡ったり、補修がしてあったりしたため、試験数が均等ではない。また、ここでは比較的古い経過年数21年、25年、30年および35年に重点を置いて試験数を増やした。

試験は図-6に示すようにJIS A 5430 5.5 曲げ強度試験に準じて行った。

(2) 試験結果

試験結果を図-7に示す。平均値に対し、相関係数 $r = -0.854$ 、回帰式は $Y = 5955 - 75.7X$ となり、経過年数による強度低下傾向が見られた。さらに経過年数20年未満と20年以上で傾向が大きく分かれた。その違いを表-3に示す。

経過年数20年は、JISの曲げ破壊荷重が350 kgf (3430 N) から400 kgf (3920 N) に変わった年でもあり、初期値が違うことが予想されるため単純な比較は出来ない。20年未満の平均値は5418 Nで20年以上の平均値は3941 Nと両者には約38%の違いが見られる。この差はJISの強度改正での14%の強度増よりかなり大きい。

曲げ破壊時のたわみは、いずれも4 mm～6 mmの範囲であり、経過年数による増大あるいは減少傾向はなかった。

経過年数10年、22年および30年の板について曲げ破壊荷重と板厚の関係について調べた結果を図-8に示す。板厚の測定はJIS A 5430 5.3 寸法の測定によった。また相関係数と回帰式を年度別に求めた結果を表-4に示す。

以上から考察した事項を以下箇条書きにして示す。

- 1) 全データについて、厚さと曲げ破壊荷重の相関を見た場合、両者の相関性は極めて弱い。
- 2) 各年度毎に厚さと曲げ破壊強度の相関を見た場合は、3年度分の全データで見た場合よりは相関が強くなったが、それでも一般的に言えば強い相関ではない。これは厚さの初期値を含め、厚さ以外のファクターの方が強度に関して支配的であるためと考えられる。
- 3) スレート自体、一般に1枚の面の中でも板の厚さがばらついており、JISによる端部4点の測定では応力のかかる部位の厚さを推定できない可能性がある。
- 4) 板厚と曲げ破壊強度との間には相関があると思われるが、相関性の強さは今回のデータからは判断出来なかった。

3.2 経年にもなう耐衝撃力の変化

経年にもなう、硬さおよび脆さの変化を調べるためにシャルピー衝撃試験を行った。

(1) 試験方法

表-3 経年20年を境とした性能比較

	経過20年未満	経過20年以上
強度 (JIS曲げ破壊荷重 : 3920Nとの比較)	平均値は全て 5000N以上 最小値は4776 N となり全てJIS 値を上回った。	平均値でJISを 下回ったもの が11年の内 6年分あった。 全ての年度で 最小値がJISを 下回った。
平均値のバラツキ	765 N	1491 N
同一年度でのバラツキ	・バラツキの最小 14年経過 29 N ・バラツキの最小 10年経過1010 N	・バラツキの最小 26年経過 304 N ・バラツキの最大 25年経過3589 N

表-4 年度別相関係数と回帰式

経過年数	相関係数	回帰式
10年	0.495	$Y = 619X + 1675$
22年	-0.373	$Y = -797X + 8456$
30年	0.369	$Y = 1070X - 2107$
上記合計	0.214	$Y = 649X + 432$

Y: 曲げ破壊荷重 (N) X: 板厚 (mm)

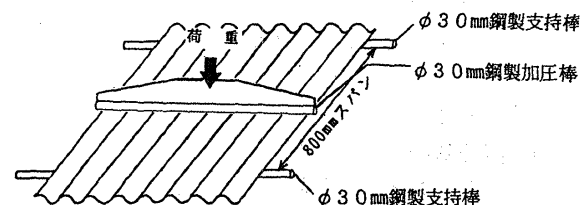


図-6 曲げ破壊荷重試験

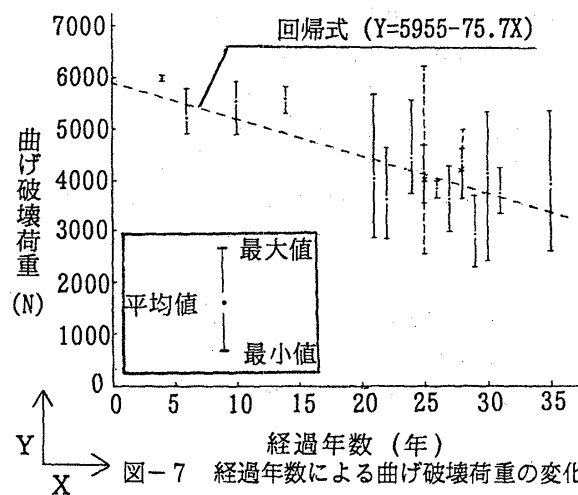


図-7 経過年数による曲げ破壊荷重の変化

供試体は、曲げ破壊強度試験後の残材から重ね部分と暴露部分について、170mm (長さ) × 130mm (1山を含む幅) を切り取って作製した。

試験方法は、図-9に示すような機械の下部に切り取った供試体を固定し、3 kgf (29.4N) のハンマー振り子を振り降ろして供試体を破壊する。供試体破壊時の振り子振り上げ角度から供試体の吸収エネルギーを算出し、シャルピー衝撃値とする。試験および算定方法は JIS Z 2242 に準じるものとし、シャルピー衝撃値は次式によって求めた。

ここに $E = M (\cos \beta - \cos \alpha)$

E : シャルピー衝撃値 ($N \cdot cm$)
 M : ハンマーの回転軸の周りのモーメント
 ($N \cdot cm$) $M = W r$
 W : ハンマーの質量による負荷 ($29.4 N$)
 r : ハンマーの回転軸中心から重心までの距離
 ($35 cm$)
 α : ハンマーの持ち上げ角度 (150°)
 β : 供試体破断後のハンマー振り上がり角度

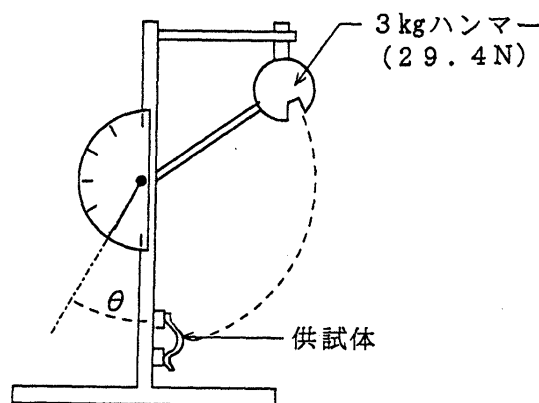


図-9 シャルピー衝撃試験方法

(2) 試験結果

試験結果を図-10に示す。

本試験結果に対する考察を以下に箇条書きにして示す。

- 1) 経年によるシャルピー衝撃値の増減傾向は見られない（硬さおよび弾力性的変化は明確には見られない）。
- 2) 曲げ破壊強度の場合、経過年数20年未満と20年以上の供試体では大きな差が見られたが、シャルピー衝撃試験値では明確な差は見られない。
- 3) 曲げ破壊強度の場合、経過年数20年未満に比べて20年以上の供試体では値のバラツキが大きかったが、シャルピー衝撃試験では20年未満のものでも値にバラツキが大きい。
- 4) 暴露部に比べて、重ね部の値の方が大きくなる傾向がみられた（全データについて暴露部/重ね部の比を計算した結果、ほとんどが1.0~0.8と重ね部の方が大きい値を示した）。

4. まとめ

4.1 化学特性の変化について

- 1) 吸水率は、暴露部・重ね下部ともに材齢30年まで下がり続ける。その程度は重ね下部の方が著しく、30年では約2%まで下がる。
- 2) これは、水和反応時に生成される水酸化カルシウムが炭酸ガスと反応して炭酸カルシウムが生成されることにより、コンクリート表面近くから細孔が充填され、吸水率が低くなったためと考えられる。

4.2 物理特性の変化について

- 1) 曲げ破壊強度は、平均値では経過年数とともに小さくなる傾向が見られたが、全体的にバラツキが大きかった。

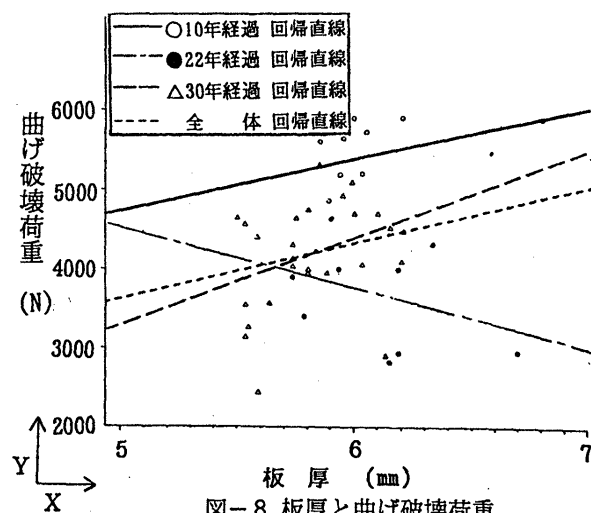


図-8 板厚と曲げ破壊荷重

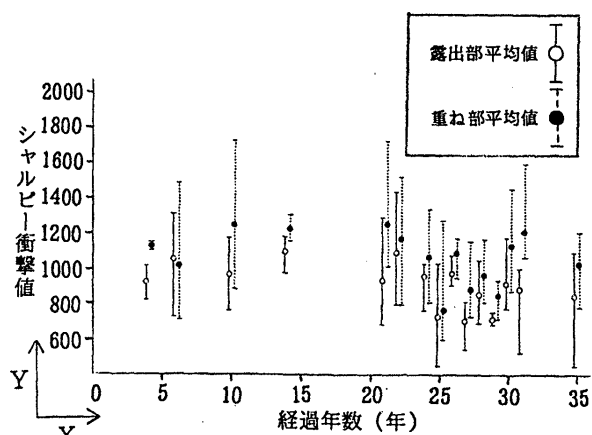


図-10 経過年数による重ね部のシャルピー衝撃値

た。この理由として前報（その1）の図-6で示したように、当初の厚さにバラツキが大きく経過年数が多いものが薄いとは限らないこと、また、（その1）に示したように層間剥離の起きる時期が経過年数とは関係していないことなどが考えられる。

2) JISの改正があった昭和49年を境に、これ以前のは強度が小さく、強度のバラツキも大きい。

3) 曲げ破壊時のたわみ量、また、シャルピー衝撃値の試験結果によれば、経過年数に伴って硬さや弾力性が変化しているとは言えない。

4) 板厚と曲げ破壊強度の間には、今回は弱い相関しか見いだせなかった。しかし、JISの板厚測定方法を今回の試験でも採用したことの妥当性、板厚以外の原因（層間剥離、微細ひび割れ、その他）などもあり、これをそのまま結論とするのは難しい。むしろ前報（その1）の図-7で示したように、経年でスレート厚さが減少し、その厚さの減少が、板の曲げ強度の低下にもつながっていると考えたほうが自然であると思われる。

【謝辞】本研究にあたり御指導・御協力を賜った、浅野スレート（株）中央研究所・長岡崎卓也様、名古屋市店営業課長・対馬更正様、名古屋工場生産課長・久野健二様および廣川智之様に深く感謝いたします。