

論文

[1027] 表層部コンクリートの品質判定方法に関する研究

正会員 笠井 芳夫 (日本大学生産工学部)
 長野 基司 (セメント協会研究所)
 正会員 佐藤 孝一 (熊谷組技術研究所)
 正会員 菅 一雅 (熊谷組技術研究所)

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化は、そのほとんどがコンクリートの表面部から進行していくものであり、構造物の耐久性にとって表層部品質は重要な支配要因となる。この点に着目し、コンクリート表層部の品質改善を目的としたいくつかの工法がここ数年来、提案・実用化されている。これらの工法による耐久性改善については、試験体から切り取ったコア供試体の促進試験などによりその効果が確認されているが、実施工に当たっては管理試験として、現場で行える品質判定方法が必要となる。この品質判定方法は、簡便な方法でかつ表層部品質を的確に把握できることが望ましい。

筆者らはこれまで簡易試験としての簡易透気・吸水試験結果とコンクリートの細孔構造、促進中性化速度との関係について報告している¹⁾。本報告は上記2試験法と合わせて細孔構造と圧縮強度との間に相関性がある点に着目し、ピンの引き抜き強度、表層部引張強度と促進中性化速度との関係を検討し、表層部コンクリートの品質判定方法として簡易透気・吸水試験、ピンの引き抜き試験、表層部引張試験の適用性について評価を行ったものである。

2. 実験方法

2.1 コンクリートの材料、調合

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は愛知県鳳来産砕石(比重2.66) 20mm以下、細骨材は静岡県竜洋産陸砂(比重2.60)を用いた。

表-1 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	計画スパン (cm)	単位量 (kg/m ³)				
			C	W	S	G	AE減水剤
45.0	42.4	18±2.5	403	181	718	998	0.403
55.0	45.7	18±2.5	324	178	803	985	0.324
65.0	48.6	18±2.5	276	179	873	953	0.276

また、コンクリートはレデーミクストコンクリートを用いた。調合を表-1に示す。

2.2 試験体種類、試験体形状

試験体の種類は水セメント比の相違および型枠の相違による比較検討ができるように表-2に示す12体とした。ただし、試験体 T-4~6, W-4~6 についてはピンの引き抜き用試験体とした。試験体形状は T-1~3, W-1~3 を図-1に、T-4~6, W-4~6 を図-2に示す。なお試験体 T-1~6 は、壁面片側のみ透水型枠を使用した。また上述4試験を含む各種試験は、試験体高さ方向の影響を考慮して、上部、中部、下部に区分し、それぞれについて行った。

表-2 試験体種類

試験体NO	型枠種類	W/C(%)
T-1, T-4	透水型枠	45.0
T-2, T-5		55.0
T-3, T-6		65.0
W-1, W-4	合板型枠	45.0
W-2, W-5		55.0
W-3, W-6		65.0

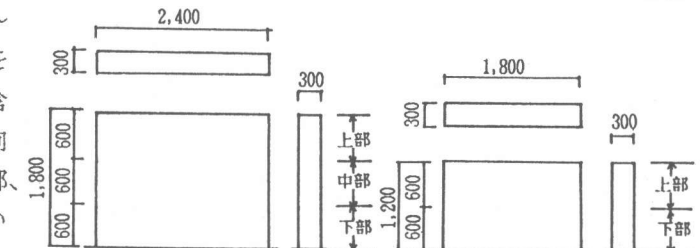


図-1 試験体形状(T-1~3, W-1~3) 図-2 試験体形状(T-4~6, W-4~6)

2.3 透水型枠の概要

実験に使用した透水型枠パネルの仕様を図-3に示す。比較用一般合板型枠は厚さ12mmの化粧合板を使用した。

2.4 コンクリートの打設・養生方法

コンクリートは壁高さ60cmごとに分けて打設を行い、締め固めはバイブレーターを壁長手方向 300mmピッチで挿入し15秒間行った。養生方法は、試験体 T-1~3, W-1~3 については材令7日、T-4~6, W-4~6 については材令3日

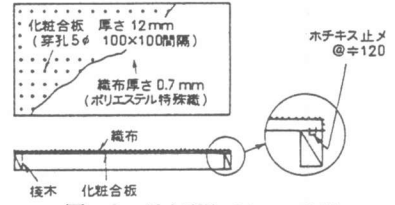


図-3 透水型枠パネルの仕様

まで型枠中で散水養生を行い、脱型後、試験体を床に平置きし室内空气中養生を行った。

2.5 試験項目、試験方法

試験項目・内容一覧を表-3に、簡易透気試験、簡易吸水試験方法を以下(1)および(2)に示す。

表-3 試験項目・内容一覧

試験体NO	試験項目	試験材令	供試体形状	試験方法
T-1~3 W-1~3	圧縮強度	91,180日	コア 100φ×100	JIS A 1107 に準拠。
	促進中性化	91日が開始、促進期間2, 8か月	コア 100φ×100 側面、底面にエポキシハマトイト塗布	温度40℃、湿度40%RH、CO ₂ 濃度10%促進養生後、供試体を割裂破断し、フェノールフタレイン塗布、深さ計測。
	簡易透気	91,180日		(1) 参照。
	簡易吸水	91,180日		(2) 参照。
T-4~6 W-4~6	表層部引張強度	180日		試験体表面にアタッチメントを取付け建研式接着力試験機で剥離力を計測。
	圧縮強度	7,14,28日	標準・封かん100φ×200	JIS A 1108 に準拠。
	ピンの引き抜き強度	7,14,28日		ASTM C 900-82 に準拠。

(1) 簡易透気試験方法

試験体に直径10mm、深さ30mm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抜き取り、真空度が60mmHgから80mmHgまで低下する時間T(sec)を計測する。次に同一試験穴の深さを80mmにし、上記手順と同様に真空度が低下する時間を計測する。

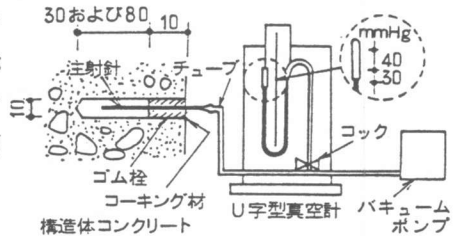


図-4 簡易透気試験装置

簡易透気速度は①式により求める。

$$\text{簡易透気速度 (mmHg/sec)} = 20\text{mmHg} / T (\text{sec}) \quad \text{①}$$

(2) 簡易吸水試験方法

試験体に直径10mm、深さ30mmおよび80mmの穴を設け簡易吸水試験装置の先端をさし込み、密栓固定しその穴に注射器を用いて水を注入する。そして、穴の中が水で満たされて余った水が試験装置のメスピペットを通して外部にあふれ出たら注入を終える。この水がコンクリートに吸収される量W (メスピペットにより読み取る) と時間T(sec) を吸水量で0.2 ml以上あるいは吸水時間で1000 sec以上まで計測し、その値を②式に回帰させてその係数Aを簡易吸水係数とする¹⁾。

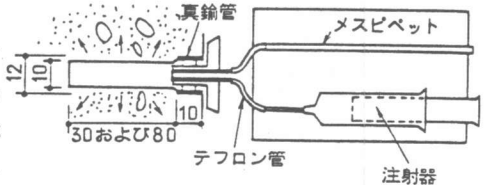


図-5 簡易吸水試験装置

$$W (\text{ml}) = A \times \sqrt{T(\text{sec})} \quad \text{②}$$

3. 結果および考察

3.1 試験体の基本物性

3.1.1 圧縮強度

材令91, 180日において採取したコアによる圧縮強度試験結果を図-6に示す。透水型枠試験体のコア圧縮強度はいずれの水セメント比においても合板型枠試験体のそれを上まわっている。

このことにより透水型枠面の排水作用によるコンクリートの品質改善効果（強度増加）は、材令91、180日の長期材令においても有効であることが確認できた。材令91日から180日までの強度増加はW/C=45%、55%ではあまり変化はなく、W/C=65%で40kgf/cm²程度の増加がみられた。これは試験体の打設時期が夏期であったこともあって長期材令での強度増加が少なかったと考えられる。また透水型枠、合板型枠ともに試験体高さ方向の強度分布については下部になるにつれて、圧縮強度が大きくなる傾向を示した。

3.1.2 促進中性化深さ

それぞれの試験体の中性化速度を確認するため表-4に示す促進期間2カ月、8カ月における促進中性化試験を行った。いずれの期間においても透水型枠試験体は合板型枠試験体に比べ中性化進行が大幅に抑制され、促進期間8カ月におけるその比はW/C=45%、55%、65%でそれぞれ1/37、1/3.3、1/3程度の値となっている。特に透水型枠試験体のW/C=45%は促進期間8カ月においてもほとんど中性化進行がみられなかった。また、水セメント比の違いによる中性化深さの差は促進期間2カ月に比べ、促進期間8カ月の方がその差を大きく示した。

3.2 表層部品質判定試験

3.2.1 簡易透気速度

図-7に示す簡易透気試験結果より、材令180日の簡易透気速度は材令91日のそれに比べ全体に速くなる傾向を示し、W/C=45%は変化は少なかったがW/C=55%、65%ではその差が顕著であった。

水セメント比の違いによる影響は材令91日では透水型枠、合板型枠試験体ともW/C=45%と55%ではあまり差は見られず、W/C=65%になるとその速度は速くなっている。また材令180日では水セメント比が大きくなるほどその速度も速くなる傾向を示した。そこでケット水分計により含水率（表面から40mm程度までの平均値）を調べたところ材令91日では水セメント比による差がなく4.3~4.7%の範囲であったのに対し、材令180日ではW/C=45%が4.1~4.6%であり乾燥せず、W/C=55%が3.5~4.0%で0.8%程度、W/C=65%が3.2~3.8%で1%程度乾燥していた。この変化は簡易透気速度の傾向と一致している。このことから、簡易透気速度はコンクリー

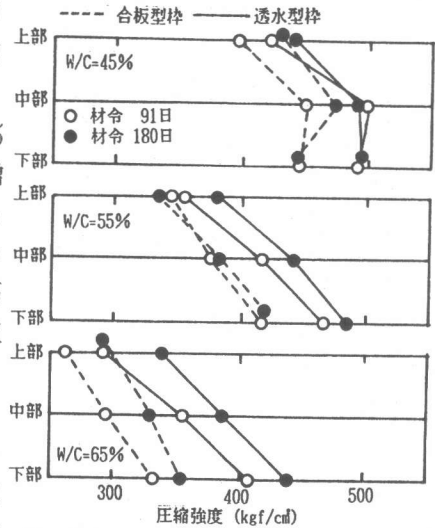


図-6 コンクリートコア圧縮強度試験結果

表-4 促進中性化試験結果

W/C (%)	採取位置	促進中性化深さ (mm)			
		合板型枠		透水型枠	
		2ヵ月	8ヵ月	2ヵ月	8ヵ月
4.5	上部	22	39	1	1>
	中部	20	40	1>	1
	下部	18	31	1	1>
5.5	上部	28	46	7	12
	中部	26	46	6	12
	下部	26	40	4	14
6.5	上部	31	73	4	37
	中部	31	69	5	17
	下部	29	63	7	15

但し、1>は1mm以下を示す。

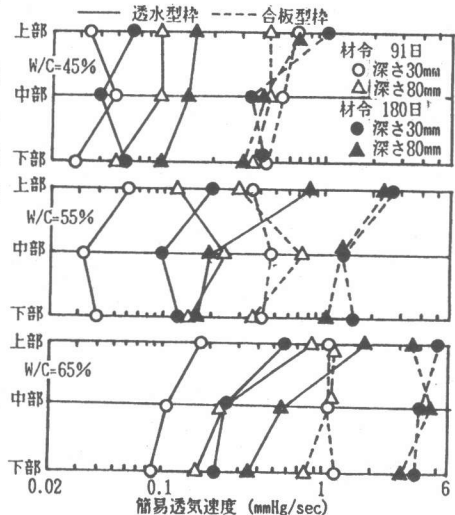


図-7 簡易透気試験結果

ト表層付近の含水率が大きく関与していることが考えられる。

3.2.2 簡易吸水係数

材令91日、180日の簡易吸水係数を図-8に示す。W/C=55%、65%の合板型枠試験体の穴深さ30mmの簡易吸水係数については材令91日に比べ材令180日が大きい値を示した。しかし、簡易吸水係数の材令による違いは簡易透気速度に比べ明確には表れなかった。これは簡易透気速度が真空度の減圧によるのに対して簡易吸水係数は自然吸水（毛細管現象）であり、簡易透気速度の方が表層部の品質について敏感に反応するためと考えられる。

穴の深さおよび水セメント比の違いによる影響はいずれの材令においても穴が30mmから80mmと深くなることにより、その値が大きくなる傾向を示し、簡易透気速度と同様に水セメント比の違いは材令91日に比べ材令180日の方がその差が顕著であった。

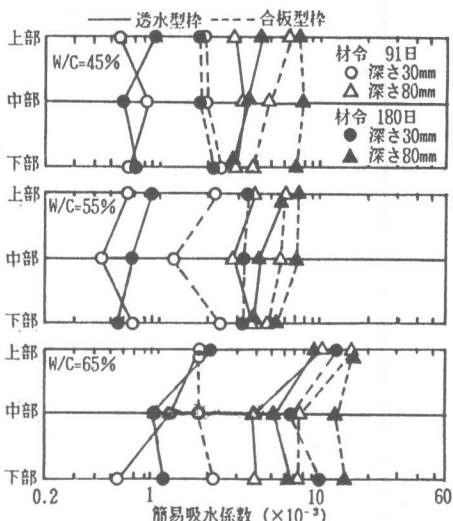


図-8 簡易吸水試験結果

3.2.3 表層部引張強度 (図-9 参照)

材令180日におけるコンクリート表層部の引張強度試験結果を図-11に示す。透水型枠試験体のカット深さ1cmでの付着力は合板型枠試験体と比較してW/C=45%、55%、65%でそれぞれ1.4倍、1.7倍、2.1倍程度の値となっており、透水型枠の使用による表層部の引張強度改善効果が認められた。水セメント比による違いは透水型枠試験体のカット深さ2cm、合板型枠試

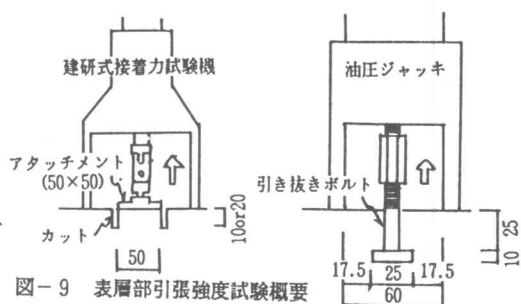


図-9 表層部引張強度試験概要

図-10 ピンの引き抜き試験概要

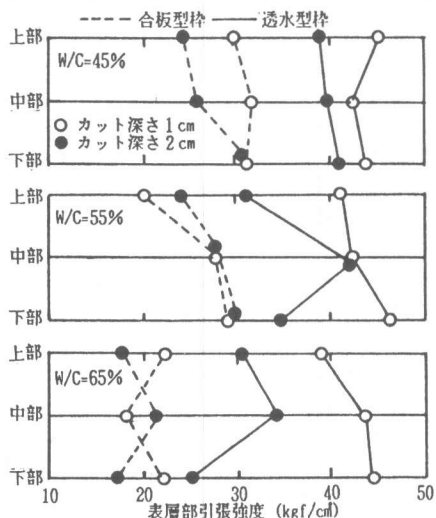


図-11 表層部引張強度試験結果

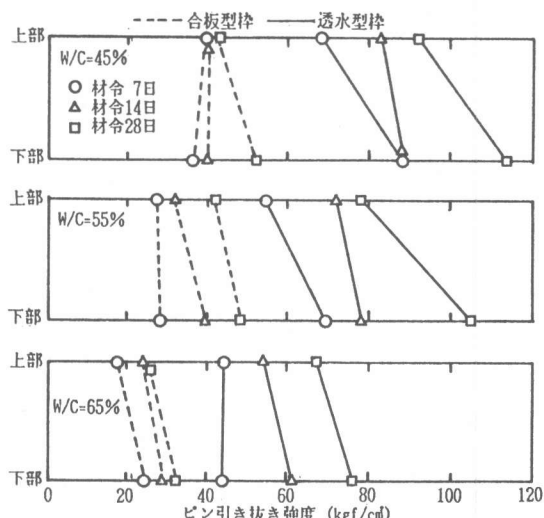


図-12 ピンの引き抜き試験結果

験体のカット深さ1 cm、2 cmでの引張強度ではその差は認められたが、透水型砕試験体のカット深さ1 cmでは明確にその傾向を認められなかった。これはコンクリート表層部が透水型砕の排水作用に伴い、水セメント比の低下やセメント微粒子の移動により緻密化され、表層から1 cm程度の範囲はコンクリートの水セメント比に関係なく、同様に緻密化された硬化体組織となったためと考えられる²⁾。

3.2.4 ピンの引き抜き強度 (図-10参照)

ピンの引き抜き強度の試験結果を図-12に示す。すべてのピンの引き抜き強度は材令が経過する程、また水セメント比が小さくなる程その値が増加し、いずれの材令においても透水型砕試験体の方が合

板型砕試験体よりも大きい値を示した。材令28日の透水型砕試験体のピンの引き抜き強度は合板型砕試験体のそれに比べ、W/C=45%、55%、65%でそれぞれ2.2倍、2.0倍、2.5倍の値を示し、表層引張強度と同様に透水型砕の表層部改善効果を確認することができた。

3.2.5 促進中性化深さと簡易透気速度、簡易吸水係数との関係

促進中性化深さと簡易透気速度、簡易吸水係数との関係を図-13に示す。全体に乾燥等の影響により材令180日における簡易透気速度、簡易吸水係数のいずれも材令91日に比べ大きい値になる傾向を示している。しかし、材令91日、180日の簡易透気速度、簡易吸水係数の値は、それらの値が大きくなるに従って促進中性化深さが増大しており、簡易透気・吸水試験が中性化深さと有意な関係を示していることがわかる。そこで、これらの関係をより明確に把握することによって両試験方法によりコンクリート表層部の品質改善効果を十分に評価できるものと考えられる。

3.2.6 促進中性化深さと表層部付着強度、ピンの引き抜き強度との関係

コンクリートの耐久性を示す指標の一つである中性化は、水セメント比が小さい程つまり圧縮強度が大きい程その速度が遅くなることが知られている。また、コンクリートの中性化に大きく影響を与える細孔構造と、圧縮強度の間に明確な相関関係があることが報告されている³⁾。このことからコンクリートの強度特性から中性化速度を推定することが可能と考えられる。たとえば、図-14は合板型砕試験体の圧縮強度と表層引張強度、促進中性化深さの関係

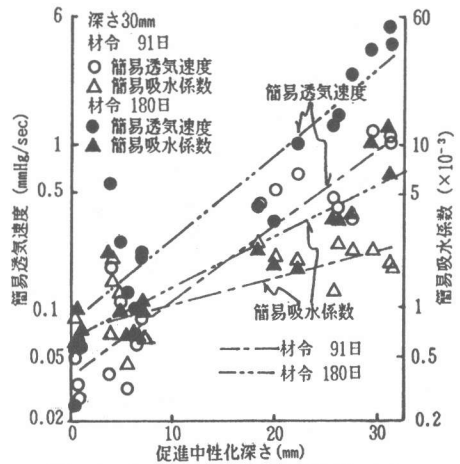


図-13 促進中性化深さと簡易透気速度、簡易吸水係数との関係

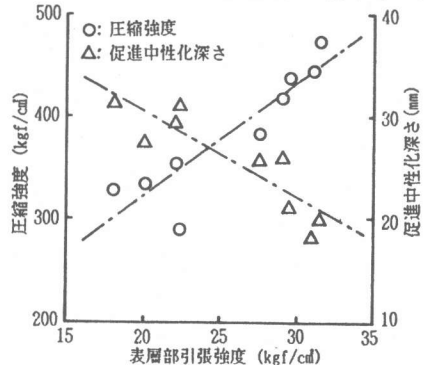


図-14 合板試験体の圧縮強度と表層部引張強度、促進中性化深さとの関係

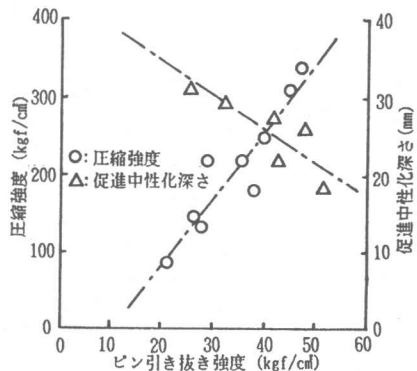


図-15 合板試験体の圧縮強度とピンの引き抜き強度、促進中性化深さとの関係

を、図-15は同様に圧縮強度とピンの引き抜き強度、促進中性化深さとの関係を示したものである。この図によれば、表層引張強度、ピンの引き抜き強度が大きければ圧縮強度が大きく、中性化深さが少なくなっており、両試験が圧縮強度と中性化に対する品質判定に有効であることを示している。一方透水型枠を使用したコンクリートでは表層から内部に向かって強度が変化していくため表層部数十mmの圧縮強度をコアなどによる直接的な試験法で求めることは困難である。そのため表層引張強度、ピンの引き抜き強度と圧縮強度との関係は求められないが、表層引張強度、ピンの引き抜き強度とコンクリート表層部の中性化速度との関係については明らかにすることができる。

図-16は透水型枠、合板型枠両試験体の表層引張強度、ピンの引き抜き強度と促進中性化深さの関係を示したものであるが、表層引張強度、ピンの引き抜き強度が大きくなるにつれて促進中性化深さが小さくなっている。このことから、表層引張試験あるいはピンの引き抜き試験により、一般型枠では圧縮強度と中性化に対する品質判定が可能であり、また、透水型枠を用いたコンクリートのように表面部から内部に向かってコンクリートの品質が変化する場合にも中性化に対する品質判定が可能と考えられる。

4. まとめ

- 1) 簡易透気・吸水試験はコンクリートの細孔構造を直接的に評価する試験であり、コンクリート表層部の品質判定のための有効な試験方法である。
- 2) 表層引張試験、ピンの引き抜き試験は促進中性化試験結果と十分な相関を示しており、コンクリート表層部の品質判定法として有効な試験法である。また、両試験方法は一般型枠を用いるコンクリートの場合、圧縮強度の検定も同時に行うことができる。
- 3) 表面引張試験はコンクリートのカット深さを変えることにより、深さ方向の品質変化を把握することができる。
- 4) 今回行った4種類の品質判定法はいずれも簡易に行える試験方法であり、コンクリート工事に伴う管理試験に十分適用できることがわかった。
- 5) 本報告では4種類の試験法がコンクリートの表層品質判定に十分適用できることを示したが、今後さらに実構造物への適用や実験を重ね、各試験値からコンクリート表層品質の定量的な推定を可能とし、耐久性の判定基準の確立を目指したい。

参考文献

- 1) 笠井、長野、佐藤、菅；透水型枠および合板型枠を用いたコンクリートの品質判定に関する研究：第10回コンクリート工学年次講演会論文集、PP.441~442, 1988
- 2) 笠井、長野、佐藤、菅；透水型枠および合板型枠を用いたコンクリートのセメント量分析：セメント技術年報42 PP.391~394, 昭和63年
- 3) 吉野、蒲田；コンクリートの細孔構造の解析による強度推定の試み：コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム論文集、PP.43~48, 1988

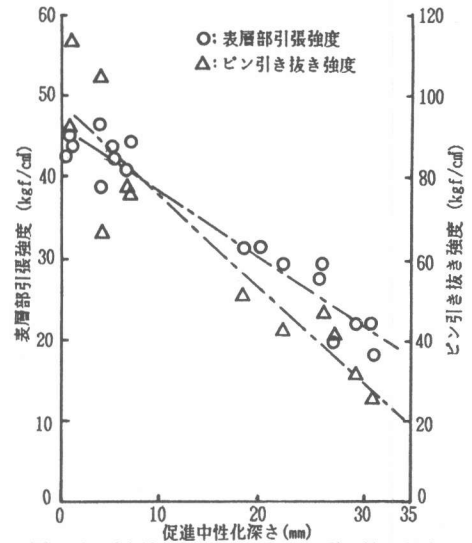


図-16 表層部引張強度とピンの引き抜き強度、促進中性化深さとの関係