

[1078] 透水型枠及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

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寿命にとって、コンクリートの耐久性は重要な支配要因となる。ここ数年、コンクリートの耐久性に関して種々の問題が提起され、それに伴って耐久性改善のための施工上の改良や、混和剤の開発がいろいろと行われている。これらの方策による耐久品質改善効果の判定や、既存構造物の耐久性診断にとって、短時間で定量的にコンクリートの品質を判定し得る方法を確立することが今後必要になってくるものと考えられる。

筆者らは、これまでに現場で簡易にコンクリートの耐久性評価を行う方法として、簡易透気試験および簡易吸水試験を提案してきた^{1)~4)}。本論文はコンクリート構造物の耐久性改善工法の一つである透水型枠^{5)~6)} (テキスタイルフォーム) および従来の合板型枠を用い、水セメント比を変えた壁状試験体により、上記試験方法の耐久性評価の位置付けを検討するとともに、透水型枠による耐久品質改善効果の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

1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は鳳来産砕石 (比重2.66) 20mm以下、細骨材は竜洋産陸砂 (比重2.60) を用いた。

2) コンクリートの調合

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。

表-1 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	計画スラブ (cm)	実測スラブ (cm)	実測空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	単位量 (kg/m ³)				
							C	W	S	G	AE減水剤
T-4.5	45.0	42.4	18±2.5	18.0	4.5	34.0	403	181	718	998	0.403
W-4.5											
T-5.5	55.0	45.7	18±2.5	17.5	4.7	31.0	324	178	803	985	0.324
W-5.5											
T-6.5	65.0	48.6	18±2.5	19.5	4.4	26.0	276	179	873	953	0.276
W-6.5											

2.2 試験体形状, 試験体一覧

試験体形状を図-1に示す。なお透水型枠を用いた試験体では、透水型枠は壁面片側のみ使用した。また各種試験は、試験体高さ方向の影響を考慮して、上部、中央部、下部に区分し、それぞれについて行った。

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6ケースとした。なお試験体の製作は水セメント比別に時期を3回に分けて行った。

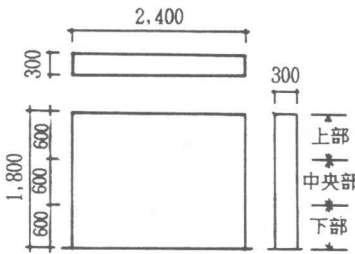


図-1 試験体形状

表-2 試験体一覧

記号	型枠種類	W/C (%)
T-4.5	透水型枠	45.0
T-5.5		55.0
T-6.5		65.0
W-4.5	合板型枠	45.0
W-5.5		55.0
W-6.5		65.0

2. 3 透水型枠の概要

実験に使用した透水型枠の仕様を図-2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。

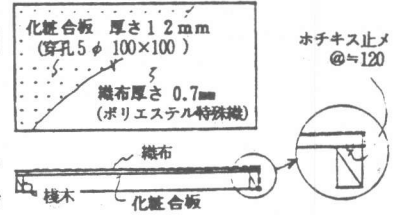


図-2 透水型枠の仕様

2. 4 コンクリートの打設方法

コンクリートは壁高さ60cmごと3層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。

2. 5 養生方法

試験体の養生方法は、材令7日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. 6 試験項目、試験方法

試験内容一覧を表-3に、簡易透気試験、簡易吸水試験方法を

(1) および (2) に示す。

(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60mmHgまで抜き取り、U字型真空計の真空度が20mmHg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20mmHg低下する時間を計測する。

簡易透気速度は①式により求める。

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

(2) 簡易吸水試験方法

試験体に直径10mm、深さ30mm、80mmの穴を設け簡易吸水試験装置の先端をさし込み、その穴に注射器を用いて水を注入し、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過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秒以上まで計測し、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。

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

3. 結果および考察

3. 1 透水型枠面からの排水量

透水型枠を使用した試験体の型枠面からの排水量は、図-5に示すようにW/C=65%の場合が5.14 l/m²ともっとも多く、W/C=45%, 55%の場合はそれぞれ3.61 l/m², 3.58 l/m²とほぼ同等の排水傾向を示した。一般に透水型枠からの排水量は、コンクリートの単位水量、凝結時間(コンクリートの打ち込み温度)、ブリージング水量等の影響を受け、単位水量、ブリージング

表-3 試験内容一覧

試験項目	試験材令	供試体形状	試験方法
透水型枠面からの排水量	コンクリート打設時		集水樋を設け、集水メスシリンダーで計測
圧縮強度	28.56.91日	標準・封かん100φ×200	JIS A 1108 に準拠
	91日	コア 100φ×100	JIS A 1107 に準拠
簡易透気	91日		(1) 参照
簡易吸水	91日		(2) 参照
細孔容積	91日		試験体中央部より試料を表面0-7.5, 0-30, 30-50, 50-80mmの位置で採取し、水銀注入式ポロシメーターにより計測
促進中性化	91日から2ヶ月	コア 100φ×100 側面、底面にエポキシハマタイト塗布	温度40℃、湿度40%RH、CO ₂ 、湿度10%促進養生後、供試体を割型破断し、フェノールフタレイン塗布、深さ計測

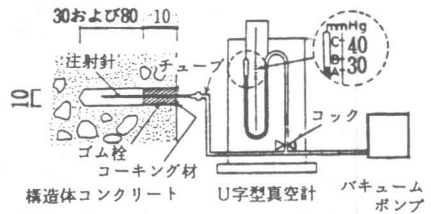


図-3 簡易透気試験装置

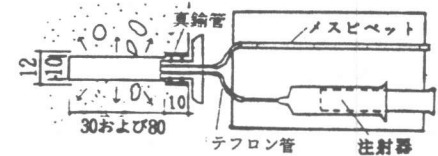


図-4 簡易吸水試験装置

水量が多い程、また凝結時間が遅れる程排水量が増大する傾向がある。本実験においてはW/C=65%のコンクリートの排水量が増大しているが、これはW/C=45%、55%のコンクリートに比べ打設温度が26℃と低いため凝結時間が遅くなったこと、スランプが19.5cmと大きかったこと（表-1参照）等の影響によるものと考えられる。

3. 2 圧縮強度

材令91日におけるコア切り取りによる圧縮強度試験結果を図-6に示す。透水型枠を使用した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を使用した試験体のコア圧縮強度を上まわっており、W/C=45%、55%、65%でそれぞれ9%、8%、19%圧縮強度が増大している。これは、透水型枠面からの排水作用により表層部コンクリートの実質水セメント比が低下したためと考えられる。また試験体高さ方向の強度分布については、透水型枠、合板型枠ともに下部になるにしたがって圧縮強度が大きくなる傾向を示した。

3. 3 促進中性化深さ

促進中性化試験結果を図-7に示す。透水型枠試験体より採取したコアの中性化深さは、合板型枠使用のそれと比較して、W/C=45%、55%、65%でそれぞれ1/20、1/5、1/6の値となっており、透水型枠の使用によりコンクリートの中性化進行が大巾に抑制されている。また水セメント比の違いでは、透水型枠試験体の場合W/C=45%がもっとも小さい値を示し、W/C=55%と65%では差は認められなかった。

合板型枠試験体の場合は、水セメント比が大きくなるにつれて中性化深さも大きくなる傾向を示した。

3. 4 細孔径分布と全細孔容積

合板型枠試験体の表層から0~7.5mmの深さにおける細孔半径分布は、図-8、1)~3)に示すように460~1800Å付近でピークを示している。一方透水型枠試験体では顕著なピークは見られず細孔半径15~28500Åの細孔容積が合板型枠試験体に比べ大巾に減少している。また、表層から50~80mmの深さにおける細孔径分布は図-8、4)~6)に示すように透水型枠試験体、合板型枠試験体の差は認められなかった。

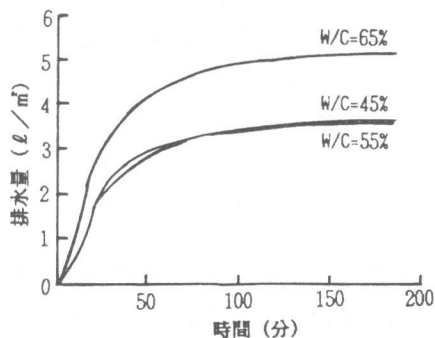


図-5 透水型枠面からの排水量

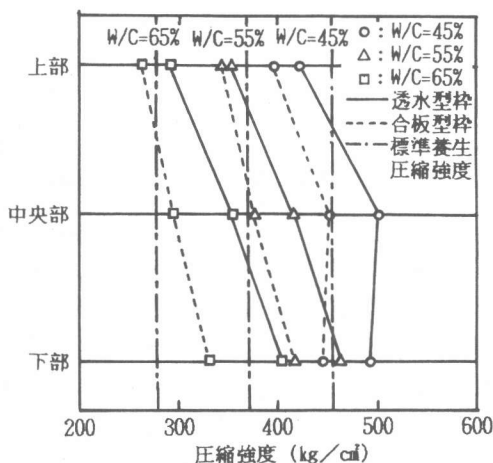


図-6 コンクリートコア圧縮強度試験結果

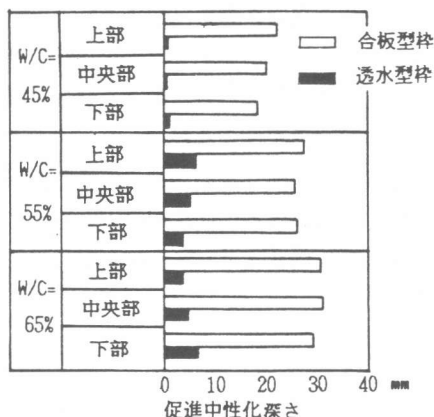


図-7 促進中性化試験結果

(促進材令2ヶ月)

透水型枠試験体では顕著なピークは見られず細孔半径15~28500Åの細孔容積が合板型枠試験体に比べ大巾に減少している。また、表層から50~80mmの深さにおける細孔径分布は図-8、4)~6)に示すように透水型枠試験体、合板型枠試験体の差は認められなかった。

このことは、透水型砕試験体では、余剰水の排水とそれに伴うセメント微粒子の移動により、コンクリート表層部において細孔半径15～28500Åの細孔容積が大巾に減少し、コンクリート硬化体組織が緻密化していることを示している。

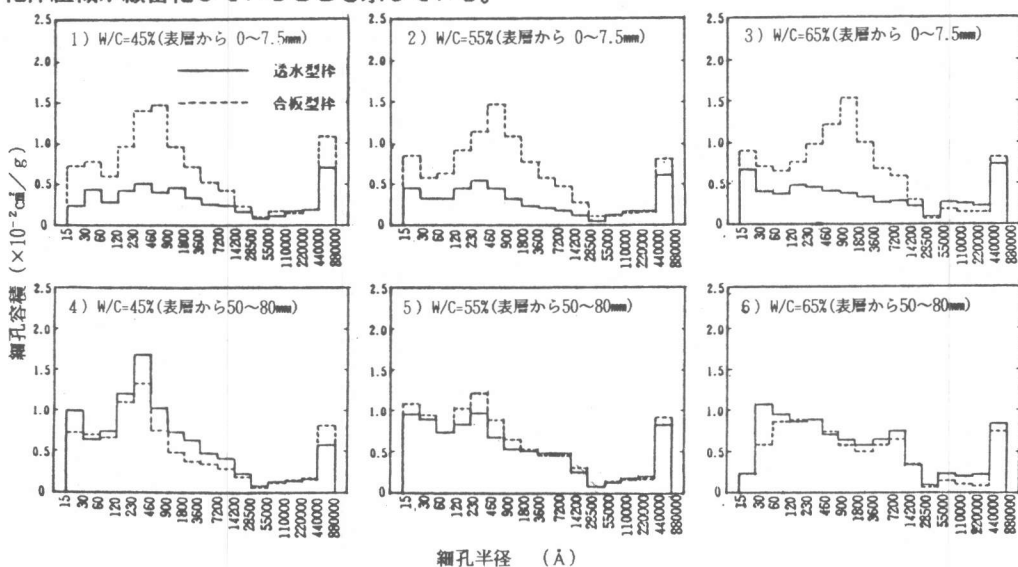


図-8 表層から 0~7.5mm、50~80mm位置における細孔径分布

全細孔容積は、図-9に示すように透水型砕試験体では表層から内部に向かうにつれてその値は大きくなる。一方、合板型砕では逆に表層から内部に向かうにつれて小さくなる。また表層から 0~7.5mm、0~30mm部分における全細孔容積は合板型砕試験体に比べて透水型砕試験体ではそれぞれ 1/2、1/1.4 と大きな差が見られるが、30~80mm部分の全細孔容積は型砕の違いによる大きな差は見られない。このことより、透水型砕を使用した場合、型砕面に近いほど排水による影響を受け全細孔容積が小さくなり組織が緻密化するが、その影響深さは今回の試験結果では30mm程度と考えられる。また合板型砕を使用した場合、表層部ほど全細孔容積が大きくなるのは型砕近傍に移動したブリージング水の影響によるものと考えられる。

3. 5 簡易透気速度

簡易透気速度は、図-10~12に示すように透水型砕試験体の方が合板型砕試験体に比べ大巾に遅くなっている。これは、透水型砕を使用することにより表層部組織が緻密化された効果によるものと考えられる。また、簡易透気速度の穴の深さによる影響は、合板型砕試験体に関してはあまり変化は見られないが透水型砕試験体では深さを30mmから80mmに変えることにより、その速度は速くなっている。このことは、透水型砕による品質改善効果は表層部ほど大きいことを示しており、細孔径分布および全細孔容積の測定結果とも一致している。水セメント比の違いによる影響は透水型砕、合板型砕試験体ともW/C=45%と55%ではあまり変化は見られないが、W/C=65%に

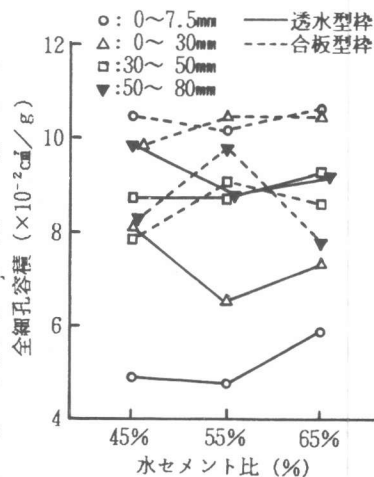


図-9 各深さにおける全細孔容積

なるとその速度は速くなっており、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ものと考えられる。高さ方向の違いによる影響に関しては、W/C=65%の透水型砕試験体が顕著にその影響を示し、試験体上部ほど簡易透気速度が速くなる傾向を示している。

3. 6 簡易吸水係数

簡易吸水係数は、図-13~15に示すように透水型砕試験体の方が合板型砕試験体に比べて小さくなっており、簡易透気速度と同様の傾向を示している。また、簡易吸水係数の穴の深さによる影響は透水型砕、合板型砕試験体とも穴が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ている。水セメント比および高さ方向の違いによる影響は、透水型砕、合板型砕試験体ともW/C=45%, 55%では大きな変化は見られなかった。しかし、W/C=65%では合板型砕試験体の試験穴深さ30mmを除いて、上部、中央部の簡易吸水係数の値が、W/C=45%, 55%に比べ大きくなっており、水セメント比および高さ方向の影響があらわれている。

なお簡易透気試験、簡易吸水試験時に水分計によりコンクリート表面から40mmまでの含水率を測定したが、その値は4.3~4.7%の範囲にあり、大きな差は見られなかった。

3. 7 簡易透気速度と簡易吸水係数の関係

簡易透気速度と簡易吸水係数の関係を図-16に示す。試験穴深さ30mm, 80mmとも簡易透気速度の増大に伴ない、簡易吸水係数も増えている。このことから、両試験法とも耐久性評価の上で同様な位置付けができると言える。

3. 8 促進中性化深さ、全細孔容積と簡易透気速度、簡易吸水係数の関係

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-17に、同様に表面から0~30mm部分の全細孔容積と深さ30mmにおける簡易透気速度、簡易吸水係数との関係を図-18に示す。この図によれば、簡易透気速度、簡易吸水係数のいずれも、その値が大きくなるに従って促進中性化深さ、全

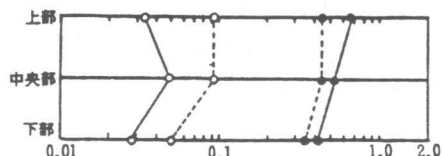


図-10 W/C=45%・簡易透気速度 (mmHg/sec)

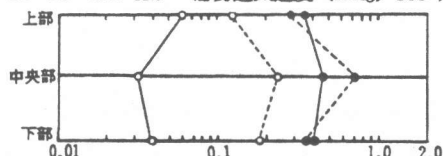


図-11 W/C=55%・簡易透気速度 (mmHg/sec)

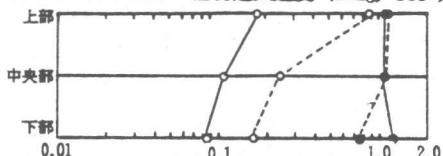


図-12 W/C=65%・簡易透気速度 (mmHg/sec)

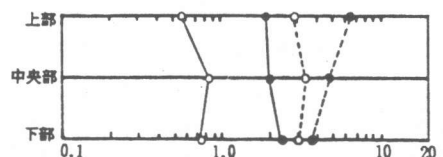


図-13 W/C=45%・簡易吸水係数

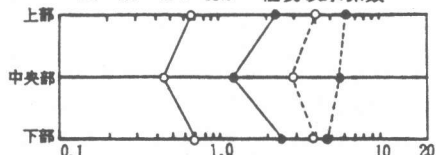


図-14 W/C=55%・簡易吸水係数

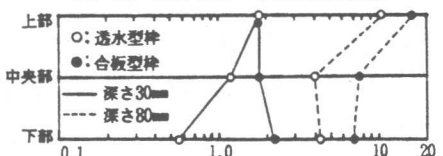


図-15 W/C=65%・簡易吸水係数

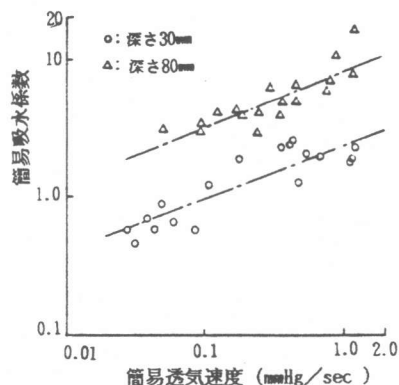


図-16 簡易透気速度と簡易吸水係数の関係

細孔容積は増大しており、簡易透気試験、簡易吸水試験がコンクリートの耐久性評価の指標となり得ることを示している。

4. まとめ

1) 透水型枠試験体のコンクリート表面10cm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のコア圧縮強度を上まわっている。また促進中性化深さも、透水型枠試験体は合板型枠試験体の1/5~1/20という値を示しており、透水型枠の排水作用による耐久品質改善効果が確認された。

2) 細孔半径分布、全細孔容積の測定結果によると、透水型枠試験体は合板型枠試験体に比べ、表層部分で細孔半径15~28500Åの細孔容積が大巾に減少している。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、その品質改善効果域は今回の試験では表面から30mm程度と考えられる。一方合板型枠試験体では逆に表層部ほど全細孔容積が大きくなっている。

3) 簡易透気速度、簡易吸水係数ともその値は透水型枠試験体の方が合板型枠試験体に比べ大巾に小さくなっており、透水型枠の耐久品質改善効果が認められた。また耐久品質改善効果の影響は、穴の深さを変えて行った試験結果によれば、表層部ほど大きくなっており、細孔容積の測定結果とも一致している。水セメント比の違いについては、透水型枠試験体、合板型枠試験体ともW/C=45%、

55%では大きな変化は見られず、W/C=65%になるとその値は大きくなっている。また高さ方向の影響もW/C=65%の試験体において顕著に現れており、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ものと考えられる。

4) 簡易透気速度、簡易吸水係数のいずれも促進中性化深さ、全細孔容積の増大に伴ってその値も大きくなっており、上記両試験がコンクリートの耐久品質評価のための指標となることを示している。

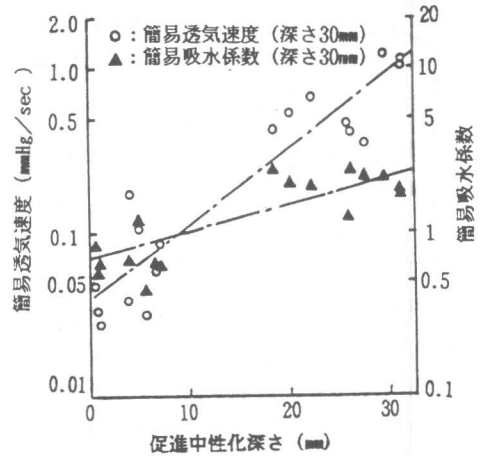


図-17 促進中性化深さと簡易透気速度、簡易吸水係数の関係

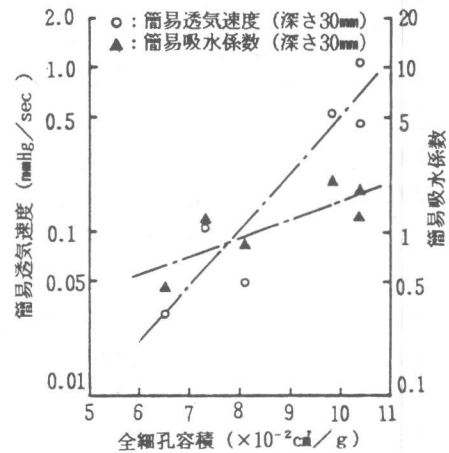


図-18 全細孔容積と簡易透気速度、簡易吸水係数の関係

参考文献

- 1) 笠井、松井、蒲原：コンクリートの簡易透気性試験方法：第5回コンクリート工学年次講演会論文集、PP.57~60、1983
- 2) 長野、笠井、国府：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートのポロシティと透気性・中性化：建築学会大会学術講演要録概集、PP.261~262、昭和61
- 3) 長野：簡易透気試験および簡易吸水試験によるコンクリートの評価：建築学会大会学術講演要録概集、PP.155~156、昭和62
- 4) KASAI, MATSUI, NAGANO : On Site Rapid Air Permeability Test for Concrete, A C I sp-82
- 5) 田中、佐藤、菅、他：繊維型枠(テキスタイルフォーム)工法によるコンクリートの品質向上に関する研究(その1)~(その4)：建築学会大会学術講演要録概集、PP.231~238、昭和61
- 6) TANAKA, IKEDA : Improvement of Surface Quality of Concrete Structures by Unique of Formwork : IABSE Symposium, PP.345~350、1987
- 7) 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：第42回セメント技術大会、昭和63