

論文

[1077] 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

正会員 平井 和喜 (東北大学工学部)  
 正会員 三橋 博三 (東北大学工学部)  
 正会員 成田 健 (東北大学工学部)  
 正会員 ○鄭 載東 (東北大学大学院)

1. はじめに

鉄筋コンクリートの耐久性の劣化は、さらされる周りの様々な環境に左右される。一般環境下における外的要因に起因する劣化は水、空気、塩などの劣化要因の外部からの浸入により始まる。近年、耐久性に関する新たな認識により、コンクリートの劣化を阻止するため各種混和剤の混入による改良、あるいは表面仕上げを施すなどの多様な方法があるが、最近、型枠の内側に特殊な繊維を張り付けてコンクリート表面の緻密化を図る方法が種々開発されている。即ち、打ち込み後モルタル部の余剰水を排出させる事により、コンクリートの表層部を強化、緻密化させることによって、上記の劣化要因の浸入を一次的な段階即ちコンクリートの表面部で阻止、あるいは浸入を遅延させることができるとするものである。しかしながら、この様にして打設されたコンクリートの硬化後の内部構造の変化について明らかにした研究はあまりない。本研究では、孔のある型枠を用いて打設されたモルタルの表層部における空隙特性の変化を把握し、さらに中性化促進試験を行うことにより微細構造の変化による耐久性向上への効果を検討した。

2. 実験計画

2. 1 使用材料及び試験体の調合

使用セメントは普通ポルトランドセメントで、その物理的性状は表-1に示す通りである。なお、骨材は宮城県白石川産天然砂を使用し、その物理的性状を表-2に示す。水は、通常の水道水を用いた。試験体の調合における水セメント比の設定は、60%及び70%の2水準とする。これは旧「調合指針案」に定められている水セメント比の最大値である70%と一般に多く使用されているコンクリートの水セメント比60%を想定したものである。また、試験体はスランブ8cmのコンクリートを想定し、そこから粗骨材を除いたモルタルで作製するものとする。モルタルのフロー値は、200±10mmになるように調整する。

2. 2 試験体の作製及び養生

a. 型枠の作製：型枠の内法は 150×200×330mmで、孔の無い型枠（普通型枠：A）と側面に孔を開けた型枠（有孔型枠：B）の2種類とし、これらは厚さ10mmの普通合板を用い、隅と内面から水が漏れないようにパテとペイントで防水処理を行った。なお、有孔型枠は、両側面 150mm幅に上下

表-1 使用セメントの性状

セメントの種類		普通ポルトランドセメント		
比重		3.16		
強度	材令	3日	7日	28日
曲げ強度 (MPa)		37	53	68
圧縮強度 (MPa)		143	265	418

表-2 使用骨材の性状

表乾比重	粗粒率	吸水率	単位容積質量
2.56	3.01	2.70 %	1,618 kg/l

\* 宮城県白石川産砂

表-3 試験体の調合

水セメント比 (W/C)	フロー値 (mm)	砂セメント比 (S/C)
60%	193	3.22
70%	208	3.75

左右25mmの間隔で直径3mmの孔を開け、内面に木綿布をホチキスで貼り付け、骨材やセメント粒子の流出を防ぐようにする。また、水セメント比と細孔量の関係を明らかにするため40×40×160mmの3連形型枠を用いて、水セメント比40、45、50、55、60、65、70%の7種類の試験体を別に作製する。

b. 試験体の作製および養生：上述の型枠により作製された試験体は、湿気中（湿度80% R.H.、温度20℃）で2週間養生し、さらに重量がほぼ一定になるまで（約2週間）気中で静置させたのちそれぞれの試験に用いる。なお、試験体は、打ち込み後5日目に脱型し、さらに湿気養生後図-3、4のような中性化試験用試験体（寸法：100×150×50mm）と細孔分布（量）測定用試験体に切断し、中性化用試験体は両側面を除いた切断面にパテとペイント塗りでシーリングを行った。

### 2. 3 細孔分布の測定

試験体の各部位別の細孔分布を測定する。測定は、所定材令に達した試料から細孔分布測定に必要な数グラムの量を取り、乾燥、脱気したのち水銀圧入式ポロシメーターを用いて行い、細孔径3.75～7500nmの範囲において表面から10、10～20、20～30mmの3カ所を高さ別にそれぞれ測定する。

### 2. 4 中性化促進試験

中性化促進試験は、恒温恒湿試験槽を用いて、温度22.5℃、湿度50% R.H. 及び炭酸ガス濃度10%の条件で行う。

試験体は中性化促進試験開始日より1、3、7、14、28、及び42日目に圧縮試験機を用いて割裂し、1%フェノールフタレイン指示薬を散布し、赤色に着色しない部分の表面からの深さを中性化深さとして測定する。なお、中性化深さの測定は、パソコンに組み込んだデジタイザーを用いて、割裂面の写真上の中性化面を連続的に測定する。

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 各試験体における表層部の細孔分布

普通型枠（A）と有孔型枠（B）を用いた試験体の表層部における細孔の分布は、図-5に示す通りである（表面から10mmの間）。これらを見ると、水セメント比60、70%の試験体の上、中下いずれの部位においても、有孔型枠を用いた試験体Bの総細孔量は試験体Aに比べ、約58～85%少なくなっている。なお、細孔分布形においては、ある特定の径の所の細孔量の増加あるいは

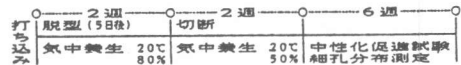


図-1 養生条件

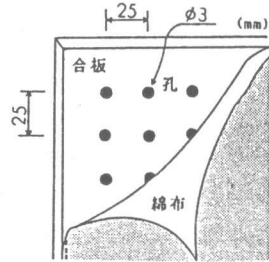


図-2 有孔型枠の仕上げ

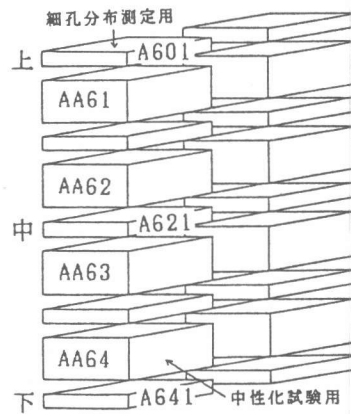


図-3 試験体の切断及び番号

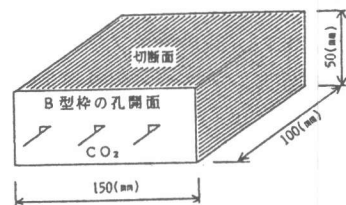


図-4 中性化試験体の形状及び仕上げ

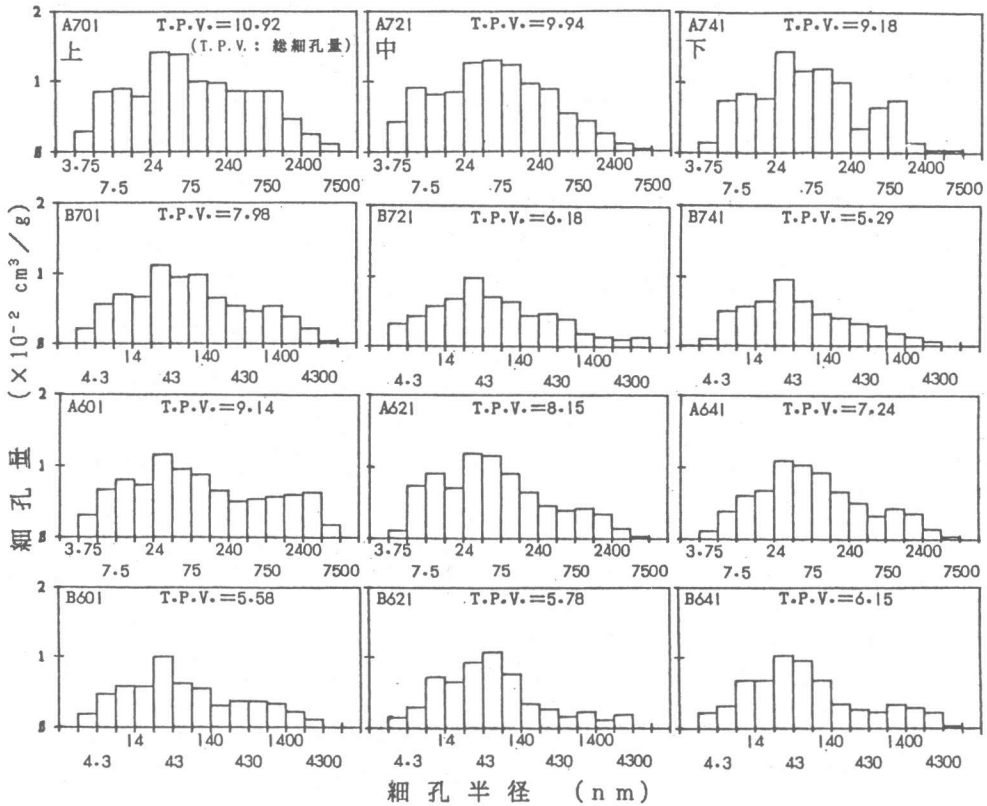


図-5 表層部10mmまでの細孔分布

減少は見られず、全細孔径域においてほぼ同じ割合で細孔量が減少する傾向にある。

図-6は、表面からの深さ0~10、10~20、20~30mmの所の総細孔量を高さ別にプロットしたもので、試験体Bの表面からの深さによる材質の変化は、上、中、下いずれの場合においても、総細孔量は表面に近いほど少ない。即ち、総細孔量は表面から内部に向かってほぼ直線的に増加して行く傾向が明らかに認められる。また、水セメント比70%の場合には、高さによる変化も明確で上部は下部より総細孔量が多い。これはブリージング現象によって上部の水セメント比が増加され、その分大きい径の細孔による空隙量が多くなっていると考えられる。しかし水セメント比60%の場合には、特に表層部においてやや異なった傾向を示している。一方、試験体Aを見ると、上部は下部より総細孔量が多い傾向は試験体Bと同様であるが、総細孔量は試験体Bより格段に多く、表面部と内部との間における特定な傾向は見られない。

以上の事から、有孔型枠においてはモルタル自体の側圧による余剰水の排出により実際の水セメント比が減り、表層部の細孔量が減少してモルタルがより緻密化したものと推定される。

### 3. 2 中性化進行上の違い

中性化促進試験による試験体A、Bの結果は、図-7に示す通りである。まず、有孔型枠を用いた試験体Bは試験体Aに比べその進み方において相当異なる形状を示している。即ち、促進試験の初期段階の7日まではほとんど中性化が進まず(1mm以内)、その後においても試験体Aより進行速度が遅い。また、試験体BはAより著しく中性化進行速度が遅く、最大中性化深さで(促進試験42日目の中性化深さ)比較すると、w/c70%で約1/8~1/4倍、w/c60%で1/4~1/2倍ほど

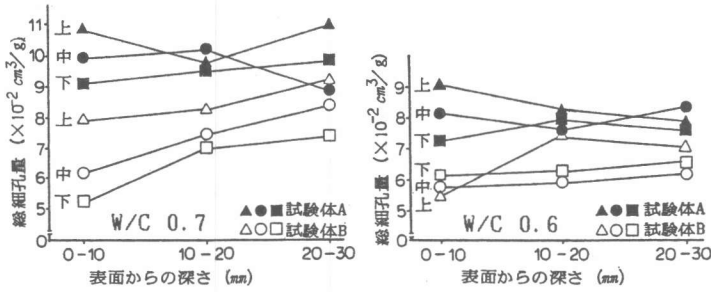


図-6 総細孔量と深さの関係

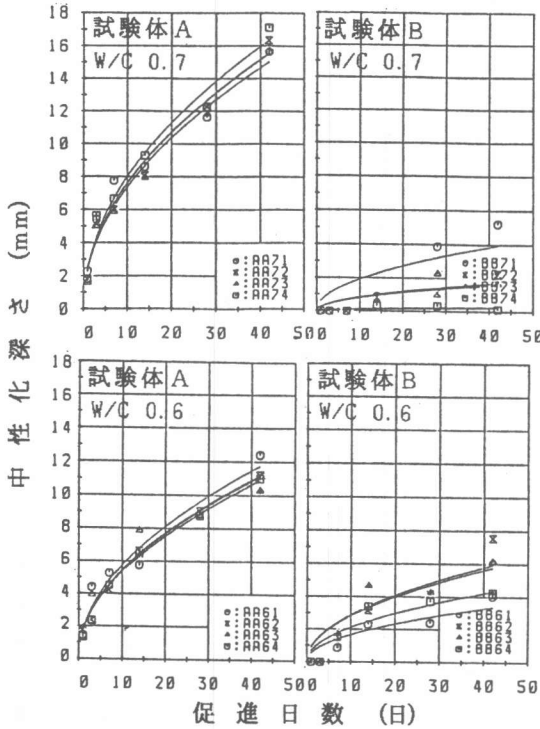


図-7 各材令別中性化深さ

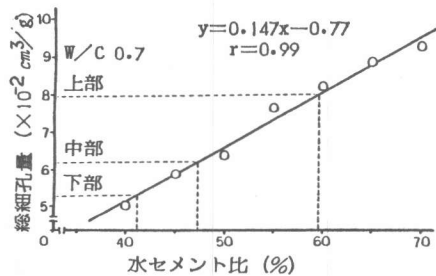


図-8 総細孔量をW/Cの関係

遅くなっており、中性化の進行を抑える効果があることが明白に認められる。これは有孔型枠を使用することにより、緻密化された表層部がフィルターの役割を果たし、炭酸ガスの浸入を抑止するためだと思われる。

### 3. 3 表層部の水セメント比の推定

水セメント比40%から70%までの試験体の総細孔量を図-8に示す。これを見ると、水セメント比と総細孔量の関係は明らかで、水セメント比の増加に伴って、モルタルの総細孔量も増加する傾向にある。さらに、これらを最小二乗法により回帰させ(回帰式;  $Y = 0.147X - 0.77$ ,  $r = 0.99$ )、水セメント比70%の試験体Bの各部位別総細孔量の値をこの式に代入すると、表面から10mmにおける上、中、下部の水セメント比は、それぞれ59.5、47.3、41.2%に変化しているものと推定される。なお、同じ方法で水セメント比60%の試験体Bの表面から10mmの所における水セメント比の変化を推定すると上、中、下それぞれ43.2、44.6、47.1%になる。以上のことから、有孔型枠の有効性を明確に示すもので、有効型枠を用いることにより実質的な水セメント比が減り、その分総細孔量も減少してその結果、表層部の強化、緻密化がもたされるものと思われる。

### 4. まとめ

以上の実験結果により、有孔型枠を用いたコンクリートの表層部は普通型枠を用いたコンクリートより非常に緻密になることが明らかである。また、耐中性化性能面においても大きい抑制効果が見られる。なお、この様な型枠の使用によって表面のあばたなども消失し、きれいな仕上がり面が得られるという効果も認められた。これらのことは、有孔型枠の有効性を明確に示すもので今後の応用が期待される。