

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

熊谷太一郎*・有岡正樹**・田辺大次郎***

著者らは、コンクリート構造物の早期劣化の問題に対する解決策の一つとして、透水型枠工法の開発を進めている。本論文は、透水型枠からの排水領域および排水によるコンクリートの品質向上領域を実験的に検討したものである。本実験の結果、透水型枠によるコンクリートの品質向上領域は、型枠面から10~20 cm程度であると考えられる。また、実験結果に基づき、透水型枠の排水機構に関する考察を行った。

Keywords : permeable form, durability, improved zone

1. ま え が き

コンクリートは、外力に対する抵抗性が大きく、耐久性に優れ、また、構造物の形状を任意に選択できる等の利点を有しているために、現在では、構造物を構築する最も代表的な材料として広く利用されている。

しかし、近年になって、塩害による鉄筋の発錆やアルカリ骨材反応等によるコンクリートの早期劣化の問題が新聞紙上で取り上げられ、コンクリートの耐久性への疑問が提起された。コンクリートの耐久性については、これまでに数多くの研究が行われているが、こうした社会的関心を契機に、官・学・産の緊密な協力態勢の下、コンクリート構造物の耐久性向上に関する研究が精力的に進められている。

現在、著者らが開発・実用化を進めている透水型枠工法は、コンクリートの耐久性向上に大いに貢献するものと期待されている。この工法は、コンクリートの表層品質を改善すれば、コンクリート構造物の耐久性は向上するという基本的コンセプトに基づいており、当初は、長い間現場技術者を悩ませ続けたコンクリート表面の気泡アバタにかかわる問題を解決するために考案されたものである¹⁾。

透水型枠を使用するとコンクリートの耐久性向上に効果があることは既往の実験的研究^{2),3)}で実証されており、また公的機関での審査においても評価されている⁴⁾。これらは、従来型枠と透水型枠を用いたコンクリートについて、それぞれの表層部の品質を種々の評価指標に基づき比較検討したものである。

透水型枠を使用した場合にコンクリートの耐久性が向

上する原因については、コンクリート表面の気泡アバタが少なく、またペースト分の濃い緻密な層が表面近傍にできるからであるということはコンクリートに携わる技術者の認めるところとなっている。しかしながら、透水型枠による排水領域および排水によるコンクリートの品質向上領域について明らかにした研究例は数少ない。

本研究は、透水型枠からの排水領域を把握し、排水によるコンクリートの品質向上領域を実験的に明らかにしようとするものである。

2. 透水型枠の概要

本論文で扱う透水型枠は、従来型枠のせき板に径3~5 mm, 間隔5~10 cmの小孔をあけ、その上にコンクリート型枠用に開発した特殊な織布を張り付けた型枠で、テキスタイルフォームと呼称されているものである。この特殊織布は、図-1に示すように、二重構造からなっている。コンクリートに接する表側には、空気や水は透過させるが、セメント粒子はほとんど通さないフィルター機能を、その裏側には空気や水を小孔に導くドレーン機能をもたせている。織布の材質はポリエステル系およびポリプロピレン系繊維で、その厚さは0.7 mm程度である。

織布とせき板との一体化は、せき板が合板の場合には型枠裏面の周辺部でステーブル(ホッチキス)により、またメタルフォームの場合には型枠側面で粘着テープ等を用いて行っている。

3. 透水型枠による排水領域の確認

(1) 実験目的

透水型枠を使用した場合、型枠面からの排水によりコンクリート表層部分の水セメント比が低減し、また、コンクリート表面にペースト分の濃い緻密な層が形成されるために、コンクリート表層部分の品質が向上すること

* 正会員 (株)熊谷組取締役社長
(〒162 新宿区津久戸町2-1)

** 正会員 (株)熊谷組海外本部担当部長

*** 正会員 (株)熊谷組技術開発本部土木技術第1部

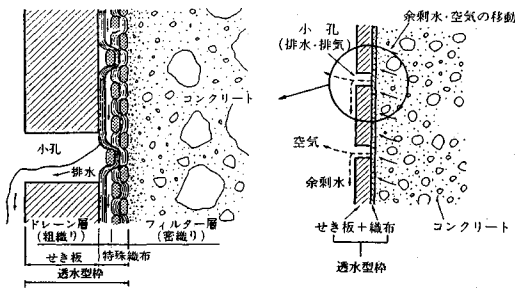


図-1 透水型枠の概要

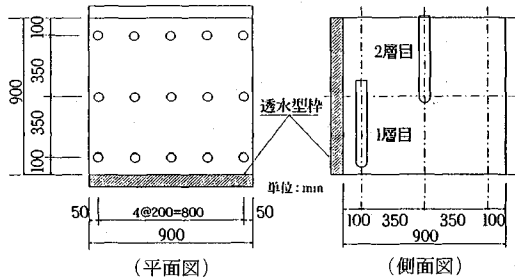


図-2 コンクリートの打込み・締固め

が知られている。しかし、透水型枠により型枠面からどの程度の奥行きの水が排出され、その結果、水セメント比がどの程度低減するかについて定量的に明らかにした研究例は少ない。

本研究では、透水型枠による排水の領域を確認し、その領域部分の水セメント比の低減量を把握する目的で実験を実施した。

(2) 実験概要

透水型枠による排水が型枠面からどの程度の奥行きまで起こっているのかを把握するためには、透水型枠を用いたコンクリートのフレッシュな状態における水の動きを調べる必要がある。フレッシュコンクリート中の水の動きを調べる方法にはいろいろ考えられるが、本研究では、水位計を試験体内に型枠面から任意の間隔で数本設置し、それぞれの水位を経時的に測定する方法を用いた。この方法は、各水位計の水位の違いにより、水平方向(型枠面方向)の水の動きが発生している領域(排水領域)とそうでない領域を区別しようとするものである。

試験体は一辺 90 cm の立方体とし、透水型枠と従来型枠はそれぞれが向かい合うように設置した。

コンクリートの打込みは、図-2 に示すように、1 層の厚さを 45 cm とし、2 層に分けて行った。締固めは、バイブレータ(コンクリート棒状振動機、φ32 mm)を用いて、全振動時間が約 200 秒/m³ となるように、図-2 に示す位置においておのおの 5 秒間行った。

実験に使用したコンクリートの使用材料および配合を表-1 に示す。

表-1 コンクリートの使用材料および配合
セメント：普通ポルトランドセメント
細骨材：天竜産および瀬戸産、粗粒率 2.70
粗骨材：石巻産、粗粒率 6.64
混和剤：AE 減水剤

呼び強度 (kgf/cm ²)	スラブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セ メント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セ メント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
180	12±2.5	4±1	65	47.7	176	271	859	1,099	0.271

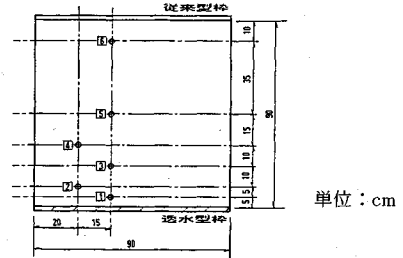


図-3 水位計設置位置(平面図)

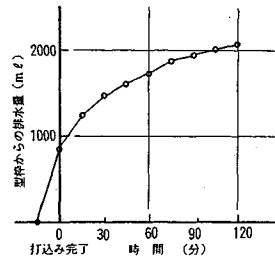


図-4 排水量測定結果

実施した試験項目は、下記のとおりである。

- ① 型枠面からの排水量測定
- ② 試験体内に設置した水位計内の水位測定

(3) 試験方法

a) 型枠面からの排水量測定

透水型枠からの排水量測定は、コンクリート締固め完了直後から排水が停止するまで行った。

b) 試験体内に設置した水位計内の水位測定

透水型枠を使用したコンクリート中の水の動きを測定するために用いた簡易水位計の仕様は、次のとおりである。水位計の本体は塩ビパイプ (VP 25, l=1 m) とし、円周方向に 4 か所、長さ方向に 20 mm の間隔でキリ孔をあけ、目詰まり防止のために、織布を巻き付けたものである。水位の測定はパイプ内にスケールを挿入し、水面の高さを計ることによって行った。測定期間は、コンクリートの打込み完了後約 8 時間までとした。水位計の設置位置を図-3 に示す。

(4) 試験結果および考察

図-4 に透水型枠からの排水量測定結果を示す。排水は、コンクリート打込み完了後約 2 時間継続し、全排水

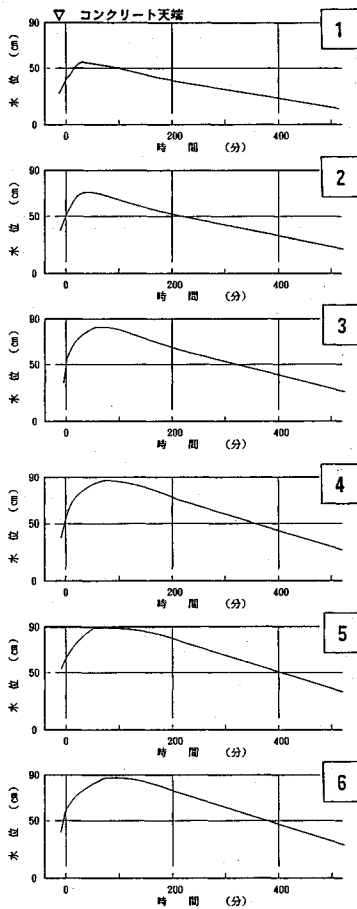


図-5 パイプ内の水位変化

量は単位型枠面積当たり 2.5 l/m^2 である。打込み完了時点での排水量は、全排水量の 40% 程度であり、残り 60% の水は打込み完了後徐々に排出されている。

図-5 に水位の測定結果を示す。透水型枠から 2 番目 (10 cm の位置) および 4 番目 (30 cm の位置) の水位計については、側面の型枠からの影響を受ける可能性があるため、ここでは、主にこれらを除いた水位計について考察を行う。

各水位計内の水位は、コンクリート打込みに伴って上昇し、打込み完了後 1 時間程度経過した時点でピークに達している。その後、下降を開始し、打込み完了時点の初期水位まで復元の後、さらに下降を続けている。

各水位計のピーク時における水位について着目すると、透水型枠から 1 番目 (5 cm の位置) の水位は最も低く、以後 5 番目 (45 cm の位置) までは、増加する傾向が認められる。さらに、4 番目以降の水位計内のピーク水位はほぼコンクリート天端に達しているのに対し、3 番目までの水位計では天端よりも低い値を示している。このことから、今回実験に使用したコンクリート配

合に関しては、透水型枠による排水領域は型枠面から 10~20 cm 程度であること、また、コンクリート中の間隙水圧は透水型枠に近いほど小さいことが推測される。

本実験で得られた全排水量 (2.1 l) より、排水領域を 20 cm とし、型枠面からの排水による水セメント比の低減量を求めると、

$$W_d = 0.9 \times 0.9 \times 0.2 = 0.162 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\Delta W = 2.1 \text{ (l)} \div 0.162 \text{ (m}^3\text{)} = 13.0 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

$$W' = W - \Delta W = 176 - 13.0 = 163.0 \text{ (l)}$$

$$W'/C = 163.0 / 271 \times 100 = 60.1 \text{ (\%)}$$

$$\Delta W/C = 65 - 60.1 = 4.9 \text{ (\%)}$$

ここに、 W_d : 排水領域の体積 (m^3)

ΔW : 排水領域における排水量 (l/m^3)

W' : 排水後の単位水量 (l)

W : 単位水量 (l)

C : 単位セメント量 (kg)

同様にして、排水領域を 10 cm とした場合の水セメント比の低減量を求めると、9.6% である。

以上の結果より、透水型枠からの排水領域を 10~20 cm とすると、今回使用したコンクリート配合については、当該領域の水セメント比は 5~10% 程度低減されることになる。この水セメント比の低減は、コンクリート表層部 (10~20 cm) の品質を向上させる効果をもたらすものと考えられる。

4. 透水型枠による排水のブリージングへの影響

(1) 実験目的

コンクリートは、セメント、骨材、水という比重の異なる材料から構成されている混合物であるため、フレッシュな状態では比重の重い骨材やセメント粒子は沈降し、逆に比重の軽い水が上昇するブリージング現象が生じる。したがって、型枠からの排水のない従来型枠の場合には、コンクリート中に鉄筋等の固定物が存在すると、その直下に空隙が生じる現象がみられることがある。透水型枠を使用した場合には、余剰水の一部が型枠面から排水されるので、全体としてブリージング量が減少し、コンクリート中の固定物直下の空隙量が低減される可能性が考えられる。

本研究では、透水型枠による排水がブリージングに及ぼす影響を確認するために、透水型枠および従来型枠を用いた試験体中の固定物直下の空隙量を定量的に把握することを目的に実験を実施した。

(2) 実験概要

コンクリート中に埋設される固定物には、鉄筋、パイプ等があるが、本研究では鋼管を使用した。透水型枠および従来型枠を用いた試験体中に鋼管を設置し、単位水量はほぼ同一であるが、水セメント比を変えた 2 種類のコンクリートを用いて、鋼管の設置位置および直径と鋼

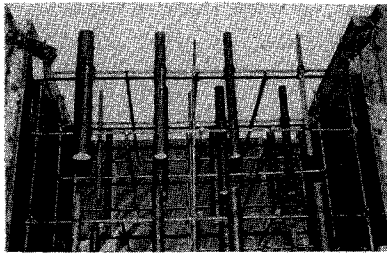


写真-1 鋼管の設置状況

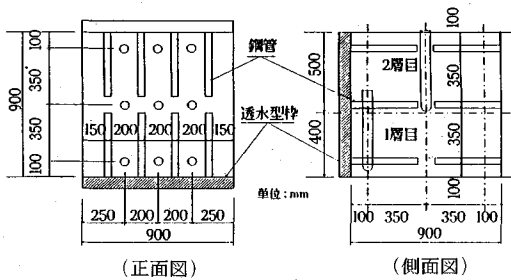


図-6 鋼管の設置位置

管直下に発生する空隙量との関係を求めた。なお、ここで空隙量とは、鋼管直下の空隙の鉛直方向の長さの最大値と定義した。

試験体は、排水領域確認実験と同様のものを用いた。コンクリート内部に設置した鋼管の長さは400 mm、鋼管の直径は、50, 34, 27 および 13 mm とした。また、コンクリート打込み中に鋼管が移動しないように、各鋼管はφ9 mmの鉄筋で固定した。鋼管の設置状況および設置位置をそれぞれ写真-1 および図-6 に示す。

コンクリートの打込みは2層に分けて行った。1層目の打込みは、中央部に設置した鋼管の下までとした。締固めは排水領域確認実験の場合に準じて行い、1層目の締固め終了後、2層目を打ち込んだ。

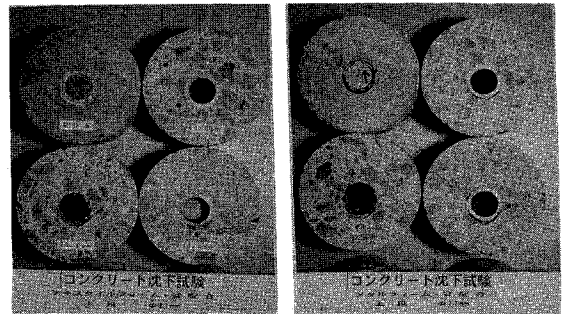
本実験で使用した2種類のコンクリート配合を表-2 に示す。

(3) 試験方法

透水型枠および従来型枠を用いたコンクリート表面から、各鋼管が中心にくるようにコア採取 ($l=450$ mm) を行い、その後型枠面から10 cm ごとに切断した。鋼管直下の空隙量は、各コアの切断面において測定した。

(4) 試験結果および考察

写真-2 は、セメント量の少ない、B 配合について透水型枠および従来型枠の上部に設置した直径 27 mm の鋼管の切断面の状況を示したものである。写真-2 より、透水型枠の場合は、型枠面から奥行き 10 cm までは鋼管直下の空隙は認められないが、従来型枠の場合には、いずれの断面においても鋼管直下に空隙が認められることがわかる。



(透水型枠) (従来型枠)
写真-2 上部に設置した鋼管の切断面の状況

表-2 コンクリートの配合

(a) A 配合

呼び強度 (kgf/cm ²)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
300	12±2.5	4±1	47	42.9	175	373	738	1.147	0.373

(b) B 配合

呼び強度 (kgf/cm ²)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
180	12±2.5	4±1	65	47.7	176	271	859	1.099	0.271

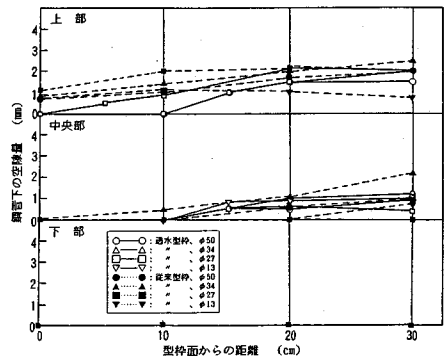


図-7 奥行き方向と鋼管直下の空隙量の関係 (A 配合)

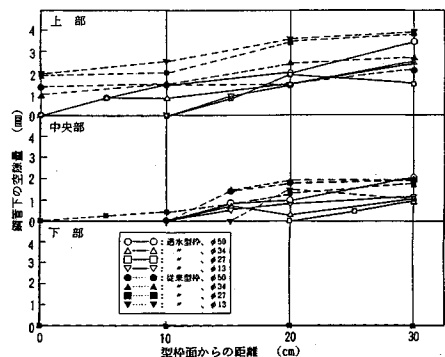


図-8 奥行き方向と鋼管直下の空隙量の関係 (B 配合)

図一七および図一八は、それぞれ A 配合, B 配合について鋼管の奥行き方向と鋼管直下の空隙量との関係を示したものである。

図一七および図一八より、以下に示すことが読み取れる。

鋼管の設置位置と空隙量の関係については、

① 配合によらず、透水型枠および従来型枠ともに型枠面から離れるにつれて鋼管直下の空隙は増加する傾向が認められる。

② 配合によらず、透水型枠の場合には、鋼管直下の空隙は、型枠面から 10 cm 以内においては、中央部では存在せず、上部でも 1 mm 以下である。従来型枠の場合には、同様に中央部で 0~0.5 mm、上部では 1~2 mm の空隙が認められる。しかし、A 配合では 20 cm 以上、B 配合では 10 cm 以上型枠面から離れると、透水型枠と従来型枠の差は明確ではない。

③ 透水型枠および従来型枠ともに、上部および中央部に設置した鋼管直下の空隙は、B 配合の方が A 配合よりも大きい値を示す。すなわち、単位水量がほぼ同じであれば、単位セメント量の小さい配合の方が、鋼管直下に空隙が発生しやすい。一方、下部に設置した鋼管直下には空隙は認められない。

鋼管の直径と空隙量の関係については、各配合ともに明確な傾向は認められない。

以上の結果より、今回使用した 2 種類の配合については、透水型枠を用いたコンクリート中に型枠面から 10 cm 以内に設置された鋼管直下の空隙は、従来型枠の場合より発生しにくいと考えられる。このような現象が起こる原因については、次の 2 つのことが推測される。

① 透水型枠を使用した場合には、コンクリート中の水の一部分が型枠より排出されるので、コンクリート中のブリージング水量が少なくなる。このことは、透水型枠近傍のコンクリート天端では、ブリージング水の浮き上がり量が少ないという実験中にみられた現象からも裏付けされる。

② 型枠面からの排水により、型枠面に近い部分では水平方向の水の動きが発生し、この水の流れによって運ばれたコンクリート中のセメントや骨材微粒子などが空隙部分を補填すること。なお、この型枠からの排水の効果が及ぶ範囲には限界があるものと考えられ、今回の実験結果からは型枠面から 10 cm 程度である。

5. 透水型枠を用いたコンクリートの強度特性

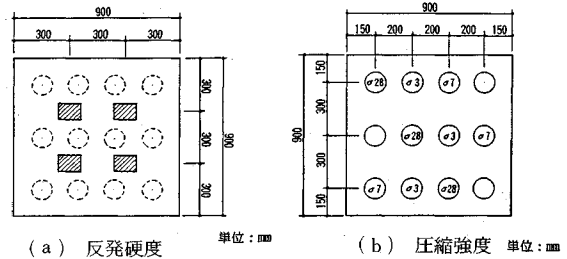
(1) 実験目的

透水型枠の排水により、型枠面からどの程度の奥行きまでのコンクリート品質が向上し、またそれがどの程度であるかについて検討する。

本実験では、コンクリート品質を評価する指標として

表一三 コンクリートの配合

呼び強度 (kgf/cm ²)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
210	8 ± 2.5	4 ± 1	60	46.1	163	272	846	1,153	0.272



図一九 反発硬度および圧縮強度測定位置 (正面図)

コンクリート強度を取り上げ、透水型枠による水セメント比の低下がコンクリート強度に及ぼす影響を定量的に把握することを目的に実験を実施した。

(2) 実験概要

透水型枠と型枠からの排水のない従来型枠を使用したコンクリートについて、シュミットハンマーによる反発硬度および圧縮強度の比較実験を実施した。

コンクリートの反発硬度については、P 型シュミットハンマー (振子型, 低強度用) を用いて測定した。また、圧縮強度については、試験体から採取したコアを供試体として用い、排水領域の確認実験の場合と同様に型枠面からの奥行きと圧縮強度との関係を調べ、型枠面からの排水によるコンクリート強度の向上領域について検討した。

試験体、コンクリートの打込みおよび締固め方法については、先の 2 つの実験と同様とした。

実験に用いたコンクリートの配合を表一三に示す。

実施した試験項目は、以下のとおりである。

- ① 型枠面からの排水量測定
- ② シュミットハンマーによる反発硬度測定
- ③ コア圧縮強度試験

(3) 試験方法

a) 型枠面からの排水量測定

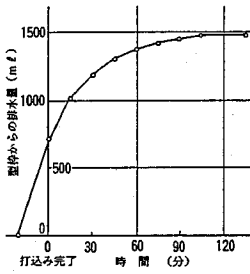
透水型枠からの排水量は、型枠の上部、中央部および下部の位置において、コンクリート締固め完了直後から 15 分間隔で排水が停止するまで行った。

b) シュミットハンマーによる表面反発硬度測定

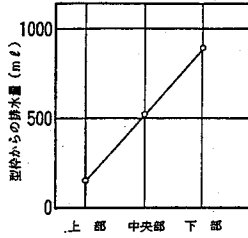
低強度用の P 型シュミットハンマーを用いて反発硬度を測定した。図一九に測定位置を示す。また、試験時におけるコンクリートの材令は、3 日および 28 日とした。

c) コア圧縮強度試験

図一九に示す位置において $\phi 100 \times 450$ mm のコアを採



図—10 排水量測定結果 (全排水量)



図—11 排水量測定結果 (採取位置別)

表—4 表面反発硬度測定結果

型枠種別	位置	反発硬度			
		材令 3 日		材令 28 日	
透水型枠	上部	57.0	平均	62.5	平均
	下部	56.5	56.8	63.3	62.7
従来型枠	上部	34.0	平均	44.3	平均
	下部	34.4	34.2	47.0	45.7

取し、各コアを型枠面から 10 cm ごとに切断する。この切断後のコアを供試体として圧縮強度試験を行い、型枠面から奥行き方向の圧縮強度分布を調べた。試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じ、またコア強度の補正は、JIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切り取り方法及び圧縮強度試験方法」によって行った。試験時におけるコンクリートの材令は、3, 7, 28 日とした。

(4) 試験結果および考察

a) 排水量

透水型枠からの排水量測定結果を図—10に、また、採取位置(上部、中央部、下部)ごとの排水量測定結果を図—11に示す。

透水型枠からの排水は、コンクリート打込み完了後約 2 時間継続し、全排水量は単位型枠面積当たり 1.8 l/m² である。

排水量を採取位置別についてみると(図—11)、排水量は採取位置が低くなるにつれて直線的に増加することがわかる。

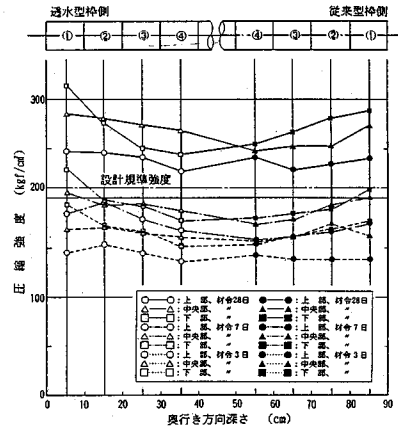
型枠面から奥行き 10 cm, 20 cm の部分までのコンクリートからのみ均等に排水されたと仮定し、前項と同様に水セメント比の低下量を計算すると、水セメント比はそれぞれ 6.7, 3.4% 低下したことになる。この結果は、先の排水領域確認実験の結果に比べて若干小さい値を示しているが、これはコンクリート配合の違いによるものと思われる。

b) シュミットハンマーによる反発硬度測定

シュミットハンマーによる反発硬度の測定結果を表—4に示す。表に示したように、透水型枠を用いたコン

表—5 採取位置別の圧縮強度比

採取位置 (奥行き方向)	試験材令		
	3 日	7 日	28 日
① 0~10cm	1.07	1.06	1.06
② 10~20cm	1.03	1.07	1.05
③ 20~30cm	1.03	1.08	1.02
④ 30~40cm	0.99	1.04	1.00
平均	1.03	1.06	1.03



図—12 圧縮強度測定結果

クリートの反発硬度は、従来型枠の場合に比べて、材令 3 日で 70%, 材令 28 日で 40% 程度増大することがわかる。この結果からすると、透水型枠からの排水によるコンクリートの反発硬度の向上効果は、材令が若いほど大きいものと考えられる。

透水型枠を用いた場合、このようにコンクリートの反発硬度が増大する原因は、型枠からの排水によりコンクリート表面にセメントおよび微粒骨材が集積し、緻密な層を形成しているためであると考えられる。

c) コア圧縮強度試験

透水型枠と従来型枠を用いたコンクリートとの圧縮強度比をコアの奥行き方向について求めたものを表—5に示す。表に示した各値は、透水型枠の圧縮強度を従来型枠の圧縮強度で除したものである。透水型枠を使用した場合には、いずれの材令においても、全体的に圧縮強度が増大しており、特に表面から 20 cm までの表層部分においてはその傾向が顕著に認められる。このことより、圧縮強度が増大している範囲は、排水領域確認実験から明らかにされた排水領域と一致していることがわかる。また、今回実験に用いたコンクリート配合については、透水型枠を使用した表層部分(型枠面から 20 cm 程度まで)の圧縮強度は、排水のない従来型枠の場合に比べおおよそ 5% 増大することが明らかになった。

図—12は、透水型枠および従来型枠の型枠面から奥行き方向の圧縮強度分布を示したものである。コアの採

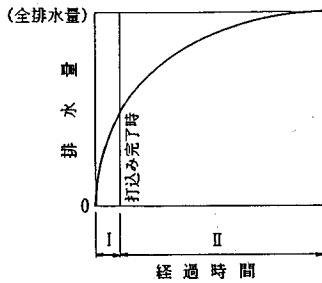


図-13 経過時間と排水量との関係

取位置別についてみると、多少の例外も認められるが、従来型枠および透水型枠ともに、採取位置が低いほど圧縮強度が大きい値を示す傾向がある。この原因には、①コンクリートが凝結する際に下部のコンクリートがその上のコンクリートの自重により圧密されるために、組織が緻密になること、②下部のコンクリートでは残留するブリージング水が少なく、骨材とセメントペーストの付着力が大きいことなどが挙げられる。

コアの奥行き方向の強度分布についてみると、透水型枠の場合には、コア採取位置が下部のものについては、いずれの材令においても表層部のコンクリートほど高い強度を示す傾向が明確に認められる。

以上の結果より、透水型枠の排水によるコンクリート強度の向上領域は、排水領域と同様に、10~20 cm 程度であることがわかる。

6. 透水型枠による排水機構に関する考察

本研究で実施した実験結果から、透水型枠を使用した場合のコンクリート中の間隙水の動きに関し、次のことが読み取れる。

- ① 型枠からの排水により、ブリージングによる鉛直方向の水の動きに加えて、水平方向の動きが誘発されること。
- ② 排水は、打込み・締固めが完了して、コンクリートが静置状態にあっても行われること。
- ③ 水平方向の水の動きが卓越しているのは、型枠面から10~20 cmの範囲であること。

また、透水型枠からの排水について、経過時間と排水量との関係を見ると、全排水量の約半分が短時間の打込み中に排出し、残りは比較的長時間かけて徐々に排出されていることがわかる。すなわち、ほぼ同量の水を排出する時間はコンクリートの打込み中と打込み完了後において大幅に異なっており、これら2つのフェーズの間には明らかに異なった排水機構の存在が推定される(図-13参照)。

まず、コンクリート打込み中の排水機構については、次のように考えられる。コンクリートが型枠内に打ち込

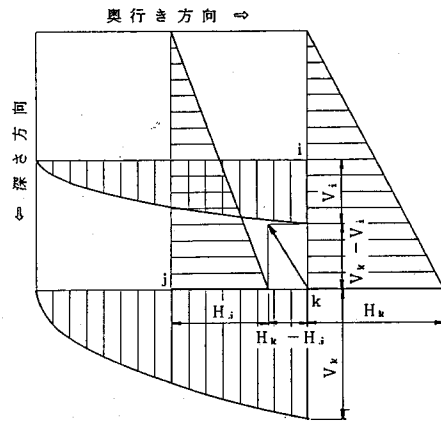


図-14 間隙水圧の考え方

まれ、締め固められると、型枠面には従来型枠の場合と同様にせき板効果⁵⁾によりペースト分が集積し、それが排水を抑制する働きをする。しかし、パイブレータを掛け続ける間は、その振動圧により「強制的排水」がなされる。「強制的排水」に伴ってさらにペースト分が加わると、型枠面に緻密なペースト層が形成され、徐々に排水抵抗が高まり、排水速度(単位時間当たりの排水量)が小さくなる。したがって、この最初のフェーズの排水は主に「強制的排水」により特徴づけられる。

次のフェーズのコンクリート打込み後の排水機構については、これは「強制的排水」によらないので、「自然排水」としてとらえることができる。「自然排水」が行われる機構は、明らかにフレッシュコンクリート中の間隙水圧に起因するものである。

間隙水圧は、「強制的排水」が行われている間であっても、コンクリートが十分に流動的である限りは、打込み高さに応じた静水圧分布をすと考えられる。しかし、打込み時はパイブレータの振動による過剰間隙水圧が卓越していると考えられるので、水圧分布はかなり複雑なものとなっていることが推定される。

それに対し、静置状態におかれたコンクリートでは、先述したコンクリート内に設置した水位計による測定結果(図-5)からも推定されるように、凝結の初期段階での内部の間隙水圧は、深さ方向についてはほぼ静水圧分布に従うものと考えられる。また、透水型枠を使用した場合の型枠面での間隙水圧は理論的には「0」である。したがって、「自然排水」のフェーズにおける奥行き方向の間隙水圧は、型枠面では0、型枠面から離れるにつれて増大し、その後一定値となる分布に従うものと考えられる。このような分布形態を示す代表的なものとして放物線分布が挙げられる。そこで、奥行き方向の間隙水圧分布を放物線分布($y=x^{1/2}$)、コンクリート打ち上がり天端からの深さ方向の分布を三角形分布と仮定して、

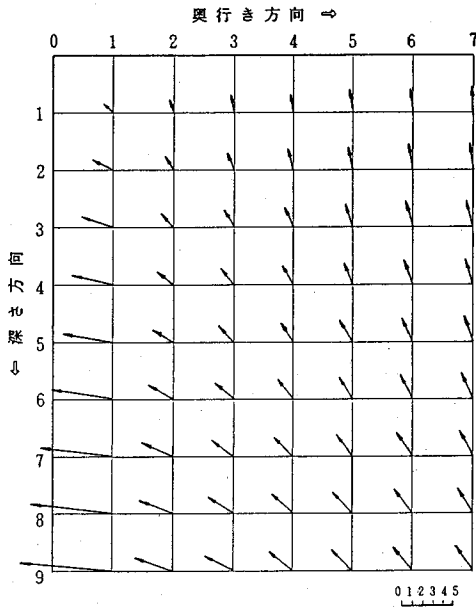


図-15 間隙水圧差の合力ベクトル

間隙水圧差の合力ベクトルを求める。

合力ベクトルは、図-14に示すように、コンクリート打ち上がり天端から区切った正方形の各交点の位置において算出する。たとえば、 k 点における合力ベクトルの鉛直成分 (V) は、 k 点と i 点における水圧差 ($V = V_k - V_i$) を、また、水平成分 (H) は、 k 点と j 点における水圧差 ($H = H_k - H_j$) を表している。作図にあたっては、コンクリート打ち上がり天端を原点にして、深さ方向および奥行き方向にそれぞれ目盛った整数値で作られる座標を用いた。各点における間隙水圧の合力ベクトルを図-15に示す。なお、図-15に示した目盛りは、各整数値で区切られた正方形の1辺の長さを1とした場合の合力ベクトルの大きさを示している。

図-15に示した間隙水圧差の合力ベクトルの模式図から、次のことが読み取れる。

① 透水型枠を使用した場合には、打ち込まれたコンクリートは下部ほど当該合力ベクトルが大きい。これは、下部のコンクリートほど排水されやすいことを示している。

② 合力ベクトルの水平成分は型枠面に近いほど大きい。これは、型枠に近いコンクリートほど排水されやすいことを示している。また、①との相乗効果は顕著である。

③ 合力ベクトルの水平成分よりも鉛直成分が卓越している領域が存在する。これは、間隙水の水平方向の移動には限界があることを示している。

これらの結果は、先述の実験結果ともよく適合していることから、透水型枠による「自然排水」は、奥行き方

向の間隙水圧差によるものであると結論される。

緻密なペースト層形成に対するこの「自然排水」の寄与度を評価するには至っていないが、間隙水の水平方向の移動によりコンクリート中の固体微粒子、すなわちセメントや骨材微粒子およびセメント初期水和生成物などが移動すると考えられる。これらの微粒子は「強制的排水」により形成されるコンクリート表層部の組織をさらに緻密化すると思われる。

7. 結 び

本論文では、①透水型枠を使用して行ったコンクリート中の余剰水の排水領域にかかわる実験、②排水のブリージングへの影響を確認する実験、③透水型枠を用いたコンクリートの強度特性に関する実験を通して、余剰水の排水機構に関する考察を行うとともに、コンクリートの品質向上領域を検討した。

本実験的研究によって得られた結果を要約すると、次のようになる。

(1) 透水型枠を使用すれば、型枠面からの排水により、ブリージングによる鉛直方向の水の動きに加えて、水平方向の移動が誘発される。このような水の動きが卓越する範囲は型枠面から10~20 cm程度である。

(2) 透水型枠を使用すれば、従来型枠を使用した場合にみられるようなコンクリート中に埋設された鋼管直下の空隙が発生しにくい。このような現象が認められるのは、型枠面から10 cm程度である。

(3) 透水型枠を使用すれば、シュミットハンマーによるコンクリートの反発硬度は、従来型枠の場合に比べて、材令3日で70%、材令28日で40%程度増大する。

(4) 透水型枠を使用すれば、従来型枠の場合に比べ、コンクリート表層部分(10~20 cm)の圧縮強度が増大する。また、特に型枠からの排水量が多い下部において、表層のコンクリートの圧縮強度ほど大きい値を示す傾向が明確に認められる。

したがって、透水型枠によるコンクリートの品質向上領域は型枠面から10~20 cm程度と考えられる。このことから透水型枠は、鉄筋コンクリート構造物の場合には、特にかぶり部での鉄筋の発錆の抑制および水平鉄筋とコンクリートとの付着強度の向上に寄与するものと期待される。

さらに、これらの結果に基づいて行ったコンクリート中の余剰水の排水機構に関する考察をまとめると、次のとおりである。

(1) 透水型枠によるコンクリート打込み時における排水機構と打込み完了後の排水機構とは異なり、前者は「強制的排水」であり、後者は「自然排水」としてとらえることができる。

(2) 透水型枠による「自然排水」は、奥行き方向の

間隙水圧差によるものである。

「強制的排水」およびその後の「自然排水」により、コンクリート表層部には緻密なペースト層が形成される。しかし、おのおのの排水の、ペースト層の形成に対する寄与度については定量的には把握されていない。この点については、透水型枠の特徴である「自然排水」の効果を評価するうえで、解明すべき点と考えている。

今後は、透水型枠を用いたコンクリートの特性について研究開発を重ね、現在の型枠よりさらに汎用性を有する型枠（インテリジェントフォーム）の開発にも着手していきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 市川 慧・横田高良・堀家茂一・片山功三：浅瀬石川ダ

ムにおけるテキスタイルフォーム（布張り型枠）工法の開発，土木学会論文集，No.373/VI-5，pp.121～129，1986.9.

- 2) Tanaka, K. and Ikeda, H. : Improvement of Surface Quality of Concrete Structures by Unique Formwork : IABSE Symposium, pp.345～350, 1987.
- 3) Horiya, S., Uno, S. and Katayama, K. : Improvement of Concrete Durability by a Permeable Form, The Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, 1989.1.
- 4) (財)国土開発技術研究センター：一般土木工法・技術審査証明書，1988.3.
- 5) Neville, A. M. (後藤幸正・尾坂芳夫訳)：コンクリートの特性，技報堂出版，p.420，1982.

(1990.12.18 受付)

EXPERIMENTAL STUDY ON AN IMPROVED ZONE IN CONCRETE BY A PERMEABLE FORM

Taichiro KUMAGAI, Masaki ARIOKA and Daijiro TANABE

There is social interest in the deterioration of concrete structures and a lot of studies by various organizations have been carried out to improve concrete durability. The permeable form described in this paper was developed on the basis of a concept that the improvement of concrete quality at the surface layer contributes to improving the concrete's durability as a whole. Most experimental studies in the past are concerned with the evaluation the concrete's quality at its surface layer. In this paper, an improved zone in the concrete is examined by considering to the dewatering mechanism of surplus water through experiments on a dewatering zone in concrete as well as the influence to bleeding water. Within the scope of these experiments, the improved zone can be considered from the form surface to be around 10 to 20 cm inwards. Accordingly this permeable form can be expected to contribute to the avoidance of rust of the reinforcing bars embedded in the covering portion of concrete structures and improve the adhesion strength between the horizontal bars and concrete in such portions.