

論 文

[1007] 高水圧下におけるフレッシュコンクリートの耐水性に関する研究

鬼頭 誠（鉄道建設公団・設計室）

末永充弘（鉄道建設公団・設計室）

正会員 青景平昌（フジタ工業技術研究所）

正会員○伊藤祐二（フジタ工業技術研究所）

1. はじめに

近年の都市機能の高度化にともない、大深度地下空間の有効利用が叫ばれている。新しいシールド工法の一環である直打ちコンクリートライニング工法は、一般のセグメント工法と比べて、幾つかの利点を期待できるがゆえに注目されている。本工法を大深度の高水圧下に適用する場合には、コンクリートは打設直後から地下水圧を受け、コンクリート中への地下水の浸透、あるいは内型枠やプレスリングのシール部の微小な隙間からの漏水による品質低下が起こる可能性がある¹⁾。そこで、このように外部からの水圧の作用を受ける場所に打設したコンクリートの、フレッシュ時あるいは硬化後の品質低下に対する抵抗性を耐水性と呼ぶこととし、硬化前の透水性状と硬化後の強度特性を評価するための試験装置を作製した。本報告はコンクリートの配合、部材厚、排水条件等が耐水性に与える影響を実験的に検討した結果をまとめたものである。

2. 実験概要

2. 1 試験装置および方法

図-1に耐水性試験装置を示す。これは、メンブレン内に打設した直後のコンクリートに所定の水圧を作用させて排水底盤からの排出水量を自動計測しつつ、そのまま硬化させ、コア供試体と標準養生供試体の強度とを比較することで耐水性を評価しようとするものである。コンクリート練り上がり直後に、スランプ、スランプフロー、空気量およびコンクリート温度を測定し、メンブレン内にこれを詰め（各層10cm）、圧力容器内に静かに注水して蓋を閉じ、加圧すると同時に排出水量の測定を開始した。また、比較のために標準養生供試体（φ10×20cm）も作製した。

表-1に試験条件を示す。排水条件のスリットは内型枠のシール目地の開きを想定したものである。全面排水条件での試験の場合には、排水底盤上に不織布を設置し、その上にコンクリートを詰めて試験を行った。本実験前に予備実験を行い、試料コンクリートとメンブレンとの間を水が通過していないことを確認した。試験は各条件ごとに3回づつ行い、

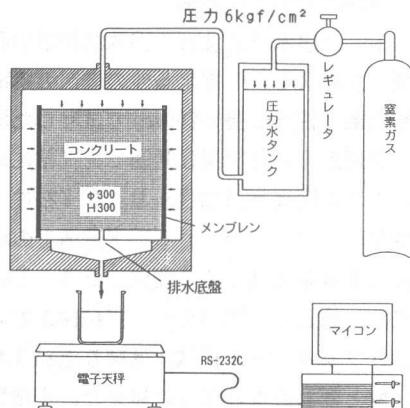


図-1 耐水性試験装置

表-1 試験条件

水圧	6 kgf/cm ²
試料高さ	3種類(10, 20, 30cm)
加圧時間	1 or 24 時間
配合	3種類(普通, 粘性, 粘性ファイバー)
排水条件	スリット(幅3mm, 長さ200mm, 開口面積6cm ²) 全面排水(φ1.5mm 孔148ヶ, 開口面積2.615cm ²)

排出水量および強度の平均値で耐水性の検討を行なった。

2.2 コンクリートの配合

表-2に実験に用いた3種類のコンクリートの配合を示す。『普通』配合は通常の構造物の施工に使用されるコンクリートを想定し、比較の基準とした。『粘性』の配合はセルロース系特殊混和剤、高性能減水剤およびフライアッシュを併用して、流動性、充填性、材料分離抵抗性を改善したものである^{1) 2)}。『粘性ファイバー』の配合は粘性コンクリートにスチールファイバーを混入したものである。

表-2 コンクリートの配合

配合種別	単位量(kg/m ³)									目標スランプ(Sl)又はスランプロード(Sf)	目標空気量(%)
	水	セメント	細骨材	フライアッシュ	粗骨材	特殊混和剤	高性能減水剤	高性能AE減水剤	鋼纖維		
普通	180	327	875	0	952	0	0	1.635	0	Sl=18cm	4
粘性	180	327	802	171	824	0.645	13.08	0	0	Sf=65cm	2
粘性ファイバー	180	327	802	171	824	0.645	13.08	0	78	Sf=50cm	2

使用材料：普通ポルトランドセメント(比重3.15), 川砂(比重2.62, F.M.=2.73), 砕石(Gmax=20mm, 比重2.63)
セルロース系特殊混和剤, 鋼纖維(0.5×0.5×30mm)

3. 試験結果および考察

3.1 排出水量に及ぼす特殊混和剤の影響

図-2にスリット排水条件の場合の累積排出水量と経過時間の関係を示す。スリット排水条件(開口部：幅3mm, 長さ200mm)で試験した場合、『普通』の結果のバラツキが大きいため、ここでは『普通』の試験結果は範囲で、『粘性』および『粘性ファイバー』の場合には平均値で示している。この図より、『粘性』および『粘性ファイバー』の累積排出水量は、『普通』に比べて非常に少ないと認められる。『普通』の場合には加圧直後から排水が発生したが、単位時間あたりの排出水量は減少する傾向にある。1時間加圧後の『普通』供試体は微粒分が流されて砂が浮き出た状態となっていたが、『粘性』および『粘性ファイバー』供試体は練り上がり直後の状態と変わらないように見えた。『粘性』および『粘性ファイバー』の24時間経過時点での累積排出水量は約0.01ℓと非常に少なく、大部分は加圧脱水によるものと考えられる。また、コンクリート中にファイバーが存在すると、これに沿って水分が透過しやすいのではないかと思われたが、『粘性』および『粘性ファイバー』の場合の排出水量に大きな差ではなく、特殊混和剤を用いて粘性を高めたコンクリートにおいては、ファイバーの使用が耐水性に及ぼす影響はほとんどないものと思われる。

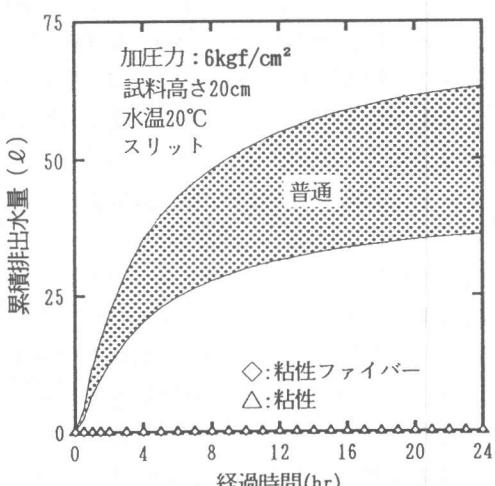


図-2 累積排出水量と経過時間の関係

3. 2 部材厚が排出水量に及ぼす影響

図-3に加圧後1時間における試験結果を配合および排水条件ごとに對数目盛りで示す。『普通』では試料高さ(部材厚)が大きくなるとともに、排出水量は小さくなるが、『粘性』および『粘性ファイバー』では、このような傾向は認められず、ほぼ一定に近い値を示した。従って、『粘性』および『粘性ファイバー』では、部材厚が10cm程度でも加圧水 6kgf/cm^2 に対して良好な耐水性を有すると思われる。一方、『普通』の場合には部材厚を大きくすることで、耐水性を改善することが可能だと考えられる。

3. 3 見かけの透水係数

耐水性試験中の試料コンクリートにおいては「水圧による透水」と「加圧による脱水」の2つの現象が同時に発生すると考えられるが、両者を含めた形で耐水性を評価するため、Darcy式より『見かけの透水係数』を求めた。

図-4に全面排水条件の場合の見かけの透水係数の経時変化を配合ごとに對数目盛りで示す。見かけの透水係数は配合によらず経過時間に伴って減少する傾向にある。ただし、『粘性』および『粘性ファイバー』の場合には、およそ8~16時間にかけて一時的に増大していることが認められた。24時間経過時の見かけの透水係数は『普通』で $5 \times 10^{-7}\text{cm/sec}$ 、

『粘性』および『粘性ファイバー』で $4 \times 10^{-9}\text{cm/sec}$ 程度で、およそ100倍の相違がある。

『普通』の場合、試料コンクリート中の全水量以上の水が排出されていることから、この水の大部分は明らかに試料を透水している。すなわち、 6kgf/cm^2 の加圧水の侵入に抵抗できず、水が試料を透過したものと思われる。しかし、水和反応の進行に伴って透水路が塞れてゆくので、見かけの透水係数も時間の経過とともに減少する傾向にあると考えられる。一般に透水係数が $1 \times 10^{-6}\text{cm/sec}$ 以下であると不透水材料と言われており、『普通』の場合の見かけの透水係数は材令18時間程度でこのレベルに達している。一方、『粘性』および『粘性ファイバー』の場合には、「加圧による脱水」現象が卓越しており排出水量が非常に少ないので、見かけの透水係数は加圧直後の時点ですでに不透水材料のレベルに達している。すなわち、この種のコンクリートの場合にはそれ自身が止水機能を持っていると言える。『粘性』および『粘性ファイバー』の場合に見かけの透水係数が一時的に増大する理由は、使用する特殊混和剤の温度依存性によるものと考えている。因に、試料中心部の温度上昇量は経過時間16時間で 4.3°C 、24時間で 8.4°C であった。

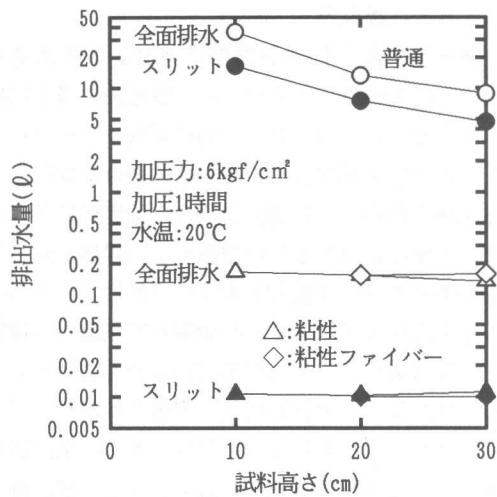


図-3 排出水量と試料高さの関係

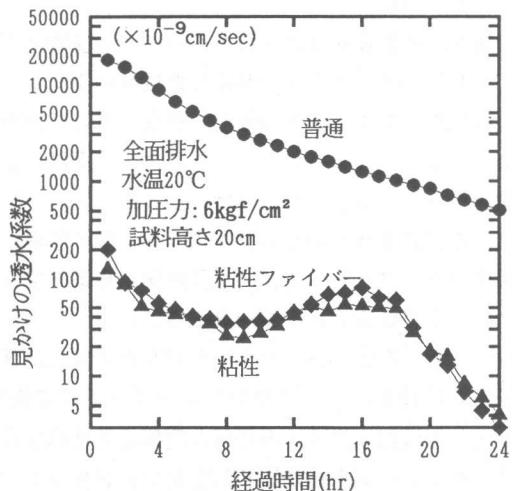


図-4 見かけの透水係数の経時変化

3. 3 圧縮強度

図-5に耐水性試験後のコアおよび標準養生供試体の圧縮強度比率を示す。『普通』の場合には透水の影響によって30%程度強度が低下するが、『粘性』および『粘性ファイバー』の場合には逆に30%程度増大した。『普通』の場合に強度が低下したのは、透水によって生じた空隙の多い組織が残っているためであり、『粘性』および『粘性ファイバー』の場合には加圧による圧密効果と空気部の体積縮小の効果によって逆に強度が増加したものと考えられる。ただし、この試験結果は実験条件がシンプルでかつコンクリートにとって非常に厳しい全面排水条件のものであり、実施工に近いスリット状の排水条件では、水圧のこのような影響は相対的に小さくなる。

4. おわりに

高水圧の影響を受けたコンクリートの品質低下に対する抵抗性を耐水性と呼び、直打ちコンクリートライニング工法を想定した場合のフレッシュコンクリートの透水性状と透水状態のまま硬化させたコンクリートの強度特性を、試作した耐水性試験装置を用いて実験的に検討した。実験は、直径30cmのコンクリート供試体の片面に6kgf/cm²の水圧を作用させて行なった。本研究の範囲内から、以下の点が明らかになった。

- (1) まだ固まっていないコンクリート版（厚さ10~30cm）の片面に水圧(6kgf/cm²)をかけると、通常のコンクリートでは、加圧直後から透水するが、セルロース系特殊混和剤を用いた粘性コンクリートではほとんど水を通さない。
- (2) 片面に水圧(6kgf/cm²)をかけたまま硬化させたコンクリートの圧縮強度を標準養生供試体の強度と比較すると、通常のコンクリートでは透水の影響により強度が低下するが、粘性コンクリートでは加圧力による圧密と空気の体積縮小の効果によって、逆に強度は増加する。
- (3) セルロース系特殊混和剤を用いた粘性コンクリートは、コンクリート自身が止水機能を持つため、施工中の型枠に隙間等が生じても、漏水を防ぐと同時にコンクリートの品質低下も防ぐ効果がある。
- (4) 粘性コンクリートにスチールファイバーを混入しても耐水性にはほとんど影響はない。
- (5) コンクリートの耐水性を改善するためには、特殊混和剤の使用は極めて有効である。

最後に、セルロース系特殊混和剤を用いた粘性コンクリートは、フレッシュな状態で高水圧を受けてもほとんど水を通さず、硬化後の強度も増大する。高水圧下で施工される直打ちコンクリートライニング工法用のコンクリートとして、非常に優れた耐水性を有していると言える。

＜謝辞＞ 本研究を実施するにあたり、ご協力を頂いた徳山曹達㈱の関係各位に、心より御礼申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) 青景平昌、渡辺直樹、神田亨、井野公紀：ECL工法におけるコンクリートの充填性とテール部の止水性に関する実験研究、ECL研究発表会論文集、日本トンネル技術協会、1988、pp.36~39
- 2) 青景平昌、その他：ECL工法用コンクリートの開発、フジタ工業技術研究所報 第24号、1988、pp.7~12

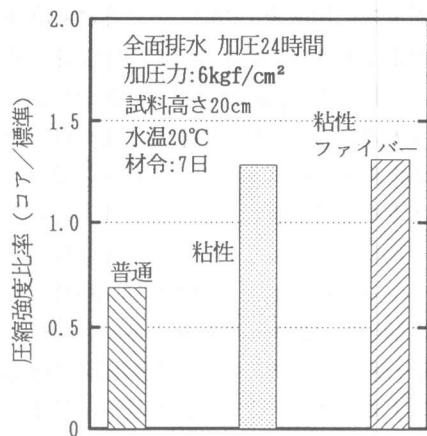


図-5 耐水性試験後の圧縮強度比率