

報告 パイプルーフに近接施工したボックスカルバート頂版への高流動コンクリートの適用

三浦 律彦*¹・久保田 強 *²・齊藤 亮 *³・椎名 陽一*⁴

要旨：パイプルーフに近接し、多数の鋼材を含むボックスカルバート頂版部の施工に高流動コンクリートを適用した。製造プラントの設備等の制約により、粉体材料として高炉B種のみを 160ℓ/m³ 用いた配合を選定し、3分割して合計1091m³の打設を行った。密閉箇所での打設で筒先の移動ができないため、予め多数の打設配管を設置し、電気式センサやファイバースコープ等で充填度の確認をしながら、順次コンクリートを打設した。品質管理は全車のスランプフローと5台毎の0漏斗流下時間等で行い、比較的安定した品質と高い充填性が確認された。

キーワード：高流動コンクリート、密閉箇所充填、施工、配合選定、品質管理

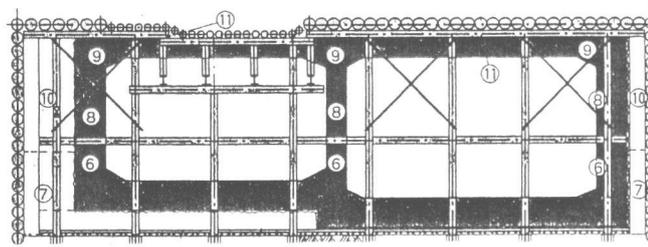
1. はじめに

近年、コンクリート工事の合理化・省力化の観点から、締固め不要の高流動コンクリートが注目を集め、実工事への適用事例も多くなってきた。このコンクリートの特徴は、流し込むだけで確実な鉄筋コンクリート構造物が施工でき、さらに過密配筋下や小さく区切られた空間でも高い充填性が期待できる点にある[1]。今回、首都高速中央環状王子線の飛鳥山トンネル建設工事において、仮設のパイプルーフの直下に道路トンネル躯体工（ボックスカルバート）を築造することになり、種々の施工検討を行った。その結果、頂版部が5%の勾配があるパイプルーフにほぼ接しており、多数の仮設鋼材が錯綜していることもあって、コンクリートの打設・充填が困難と判断され、この箇所に高流動コンクリートを適用することを計画した。本報告では、工事の概要と配合選定の方法、それに高頻度で行った打設時の品質管理結果について考察を加える。

2. 工事の概要

2.1 対象構造物と施工手順

飛鳥山トンネルの導入部に位置するトンネル躯体工は、交通の要所である明治通りの飛鳥山交差点の路下に建設されるもので、交通の遮断を避けるためにパイプルーフ工法で上方を防護し、その下に支保工を巻き込む形で躯体（図-1）を築造する。外形寸法は、幅員：29.3m、高さ：9.5m（断面右側）、延長：20.78m、部材厚：[底版外壁]1.5m、[中壁]1.0m、[頂版]1.0～1.6m（勾配有）となっている。



⑥、⑧側壁コンクリート ⑦、⑩側壁外側空隙部充填工（エアレタ）
⑨ハンチ部、頂版部コンクリート ⑪頂部空隙部充填工（高流動膨脹系モルタル）
（高流動コンクリートを使用）

図-1 トンネル躯体工と頂版付近の施工順序

2.2 頂版の施工方法

頂版の施工は配筋や型枠支保工設置上の制約から、図-2に示すような路線方向の3分割で行

*1 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室 副主任研究員、工修（正会員）

*2 首都高速道路公団 第二建設部 設計課 班長， *3 同 主査

*4 首都高速道路公団 第二建設部 板橋工事事務所 技師、工修

った。コンクリートの打設は1回目を3月31日(314m³), 2回目を4月11日(308m³), 3回目を4月25日(469m³)に実施した。

コンクリートの製造はレディミクストコンクリート工場の4.5 m³容量の二軸強制練りミキサを用い1バッチ2.5m³で行った。

コンクリートの打設はピストン式ポンプ(最大能力115m³/h)と4B配管(実長50~70m)を用いて地上から圧送して行った。H鋼で仕切られた各空間に均等に充填するため, 毎回7~9本の配管を図-2のように全体に配置し, 順次ポンプと接続させた。

3. 配合の検討

3.1 使用材料の選定

一般に高流動コンクリートでは, 高い流動性と分離抵抗性を同時に達成するために, セメントや混和材等の粉体材料を比較的多量に使用する必要がある。既往の報告[2]によると, 工場製造時に安定した性状を得るには一般に160~180 ℓ/m³程度以上の粉体総量が必要と考えられている。また, 流動性を長時間保持するには, 経時変化の少ない混和剤を使用しなければならない。

粉体材料には各種のセメントの他, 高炉スラグ微粉末やフライアッシュ, シリカフェーム, 膨張材, それに石灰石粉などがあり[3], コンクリートの要求性能に応じてこれらの幾つかを適宜組み合わせる。

しかし, 実際の工事においては, コンクリートの要求性能以外にも, 工場での常用材料や粉体貯蔵サイロの占有使用の可否が大きな制約条件となる。今回の工場では, 普通, 早強, 高炉B種の3種類を常用し, サイロもこれらの3つだけであった。また, 数量的にも打設日の占有使用や新たな設備投資が不可能と判断された。そこで今回は, マスコン構造物であることを考慮し, 粉体材料として常用3種類の中で発熱量が最も低くなる高炉セメントB種のみで対処することとした。混和剤は工場での使用実績を考慮し, 最終的には表-1に示すような材料を選定した。

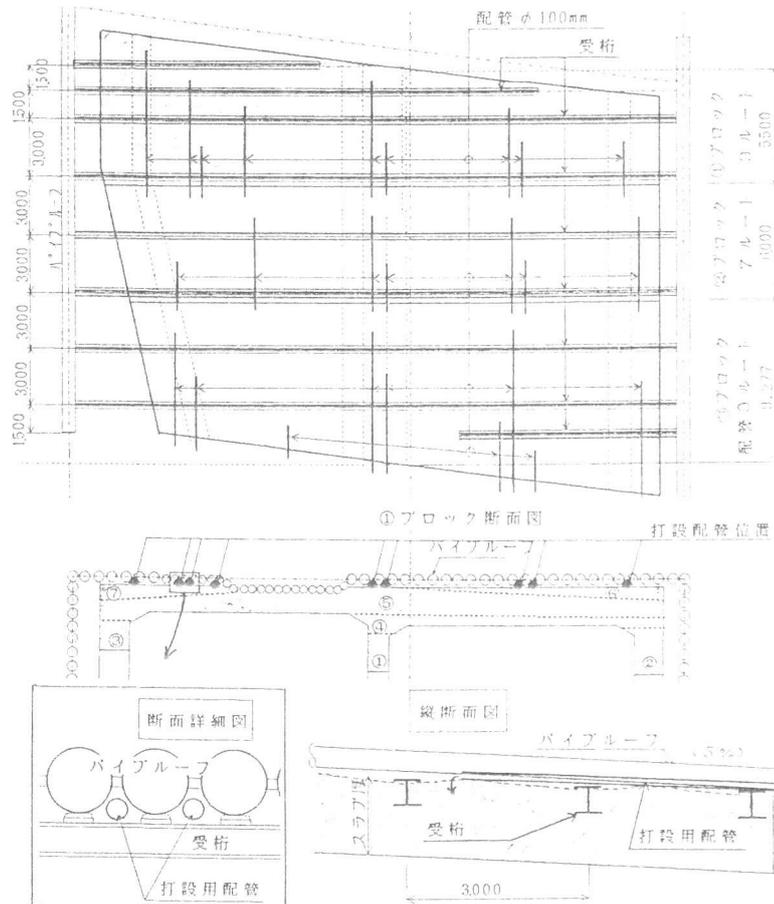


図-2 頂版の分割施工と打設配管の設置状況

表-1 高流動コンクリートの使用材料

分類	種類	比重	製造会社・産地, 主成分, 物性など
セメント	高炉(B種)	3.04	宇部セメント(株)製
細骨材	三種混合砂	2.60	鹿島・君津・栃木産混合品, 粗粒率2.65
粗骨材	石灰砕石	2.72	栃木産2005, 粗粒率6.58, 実積率61.0%
混和剤	高性能AE減水剤	—	F.P.K.(株)製, アミノスルホン酸塩系

表-2 コンクリートの目標仕様

評価特性値	試験方法	目標仕様
スランプフロー	土木学会規準	62.5±7.5 cm
空気量	JIS A 1128	4.5±1.5 %
O漏斗流下時間	文献[4] 参照	7 ± 3 秒
設計基準強度	標準材齢28日	300 kaf/cm ²

3. 2 目標仕様の設定

一般に、高流動コンクリートの流動性はスランブフローで判定されるが、分離抵抗性については統一された試験法が確立されておらず、各種の試験法[4]が試行されている。その中でも、漏斗を用いた流下試験が比較的好く用いられており、今回はO漏斗[3]を用いた簡易粘性評価を実施した。

さらに、既往の研究成果[2]や施工実績[5]等も考慮して、現場荷卸し時のコンクリートの目標仕様を表-2に示すように設定した。

3. 3 配合選定試験

先ず室内試験において、単位セメント量を必要最少量と思われる 160 l/m^3 (486 kg/m^3)とし、目標スランブフローやO漏斗流下時間が得られる単位水量、混和剤添加率、細骨材率を検討した。その結果、単位水量 165 kg/m^3 、細骨材率 50.2% 、混和剤添加率 $C \times 1.8\%$ が選定された。

次いで、実機ミキサで製造した場合の品質確認試験を行ったところ、2月実施でコンクリート温度が 10°C 前後と低くなり、混和剤添加率が 2.7% と室内試験の5割増しになったものの、フレッシュ性状は目標仕様の範囲内にあり、経時変化も少なくなった。実際の施工が3月末から4月となり、コンクリート温度が室内試験に近くなることが予想されたため、混和剤添加率も低減可能と判断された。以上のことを考慮して、最終的に表-3に示す配合を選定した。

4. コンクリートの品質管理試験結果

4. 1 品質管理試験項目と頻度

コンクリートの品質管理の目的で、工場出荷時と現場荷卸し時に表-4に示す各種の試験計測を実施した。現場荷卸し時のスランブフロー試験は全車について行い、やむを得ず目標の範囲を下まわった場合には、高性能AE減水剤を少量添加して再流動化で調整した。

4. 2 コンクリートの運搬時間

工場での製造から現場荷卸しまでの経過時間を運搬時間と定義し、度数分布として図-3に

表-3 高流動コンクリートの配合

粗骨材最大寸法(mm)	目標空気量(%)	目標スランブフロー(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	混和剤
20	4.5±1.5	62.5±7.5	34.0	50.2	165	486	824	854	10.7-11.7

表-4 品質管理試験項目と試験頻度

試験・計測項目	試験・計測頻度		備考
	工場	現場	
運搬時間	全車	全車	—
コンクリート温度	1-5台+5台毎	1-5台+5台毎	品質変動状況により適宜追加計測を実施
スランブフロー	1-5台+5台毎	全車	
O漏斗流下時間	1-5台+5台毎	1-5台+5台毎	
空気量	1-5台+5台毎	1-5台+5台毎	—
圧縮強度	150m ³ に一度以上	150m ³ に一度以上	—

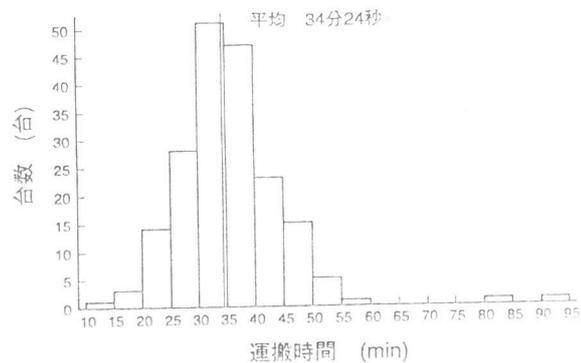


図-3 コンクリートの運搬時間

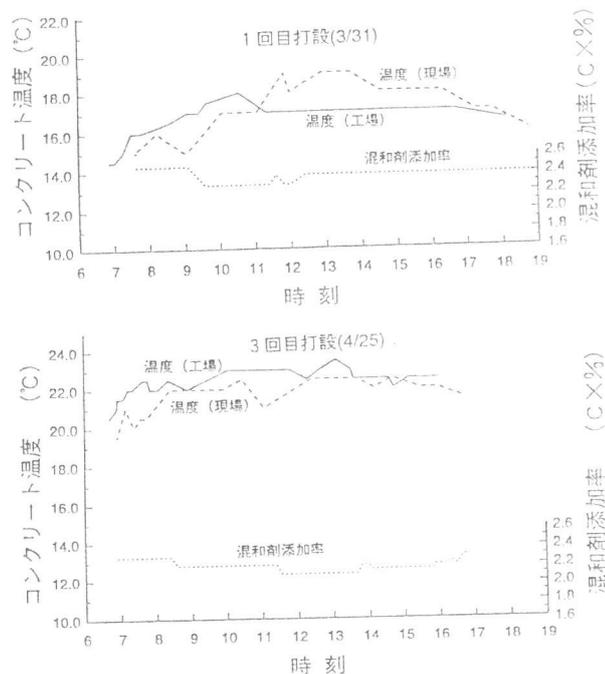


図-4 温度と混和剤添加率の変化

示す。1回目打設では試験的に分岐配管を使用した
が、圧送途中に分岐部付近で閉塞が生じて
30分程度中断し、運搬車が現場到着後長時間待
機させられ、最長で80分を経過した車が2台あ
った。2回目以降の打設では配管を直結方式と
したことにより閉塞は生じなくなり、何れも50
分以内の運搬時間となった。全体の平均運搬時
間は35分程度で、出荷や施工が慣れた3回目
では30分程度と徐々に短くなる傾向を示した。

4. 3 温度と混和剤添加率の関係

1回目と3回目の打設におけるコンクリート
温度と混和剤添加率の変化を図-4に示す。一
般に、コンクリート温度が高くなるほど混和剤
の化学的な分散効果が高まり、少ない添加率で
同じスランプフローが得られるようになる。今
回の結果でも、現場荷卸し時の温度で比較する
と1回目(3/31)では15~19℃、3回目(4/25)
では20~22.5℃と徐々に上昇し、混和剤添加率
も1回目の2.4%程度から3回目の2.2%程度
まで若干減少する傾向が認められた。

4. 4 スランプフロー

1回目と3回目の打設におけるスランプフロ
ーの試験結果を図-5に示す。一般に、工場出
荷時に比べて現場荷卸し時のスランプフローは
大きくなったが、その増加の程度は混和剤添加
率や温度、運搬時間の違いによって異なった。
工場と現場におけるスランプフローの度数分布
と平均値を図-6に示す。工場出荷から現場荷
卸しまでの増大量の平均は9.5cmであった。

4. 5 O漏斗流下時間

1回目と3回目の打設におけるO漏斗流下時
間の試験結果を図-7に示す。一般に、工場出
荷時に比べて現場荷卸し時の流下時間は若干増
加し、コンクリートの粘性が若干高くなる傾向
を示した。工場と現場におけるO漏斗流下時間
の度数分布と平均値を図-8に示す。工場出荷
から現場荷卸しまでの流下時間の増大量は平均
で0.8秒でほぼ安定した結果であった。全般に、
工場出荷時の流下時間はやや変動が大きく、製
造直後ではまだフレッシュコンクリートの性状
が十分安定せず、概略5~9秒の範囲にあった。

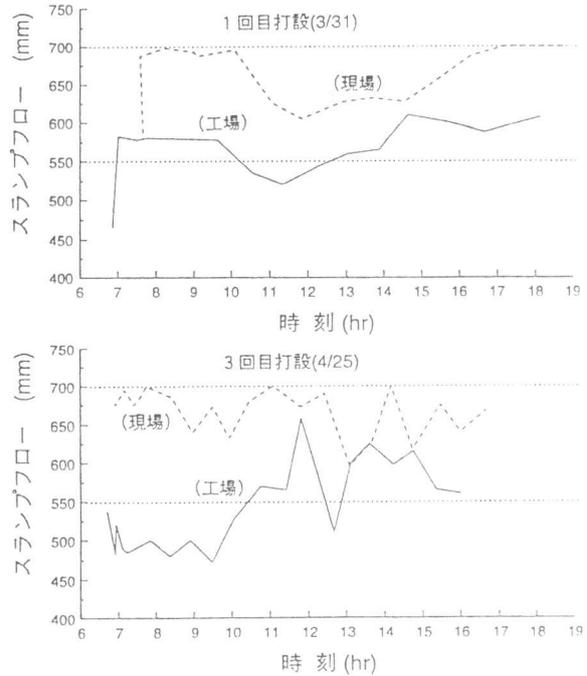


図-5 スランプフローの変化

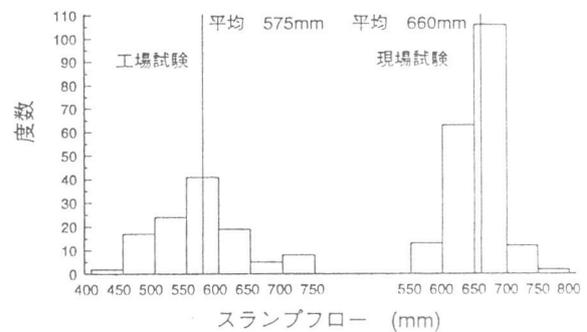


図-6 スランプフローの分布

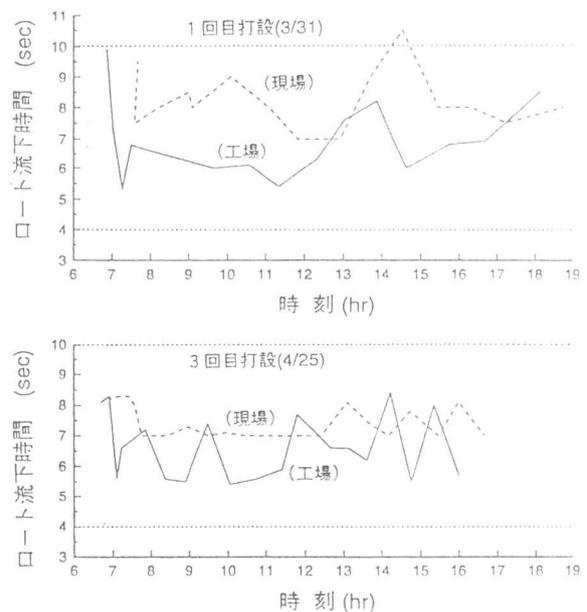


図-7 O漏斗流下時間の変化

一方、現場荷卸し時にはほとんどが 7~9 秒の範囲にあり、この時点で性状が安定したことが確認された。なお、圧送担当者によると、今回の圧送条件では O 漏斗流下時間が 12 秒を越えた場合に圧送負荷が高くなる傾向が認められた。

4. 6 空気量

1 回目と 3 回目の打設における空気量の変化を図-9 に示す。全般に、工場出荷時に比べて現場荷卸し時の空気量が減少する傾向が認められ、その低下量は 1.7~0.1 % となり、全平均で 0.8% であった。空気量の低下が大きくなるのは、運搬中にスランプフローが増大して空気が消失するためと思われ、スランプフローが大きいものほど低下量が大きくなる傾向にあった。

4. 7 圧縮強度

工場出荷時と現場荷卸し時に採取した供試体の圧縮強度試験結果を図-10 に示す。全般に、現場で採取した供試体の方が工場で採取したものより若干高い強度を示した。圧縮強度は材齢 7 日で既に設計基準強度以上の値となった。材齢別に見ると、図-11 に示すように空気量が少ないものほど強度が高くなる傾向にあり、打設日や採取場所による差は少ないことが判明した。

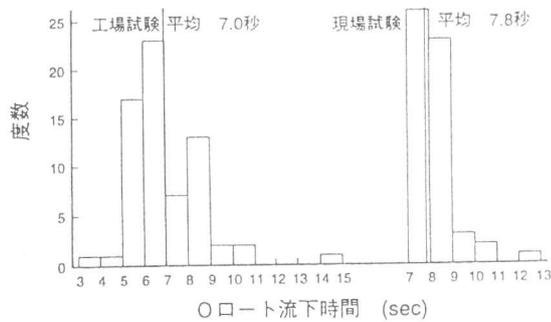


図-8 O 漏斗流下時間の分布

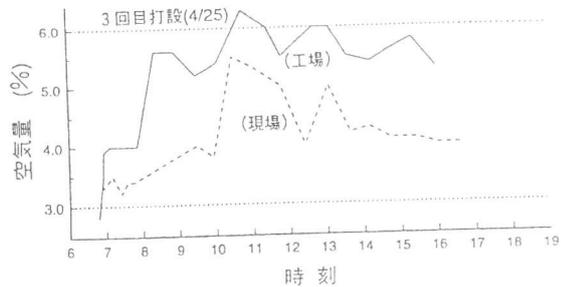
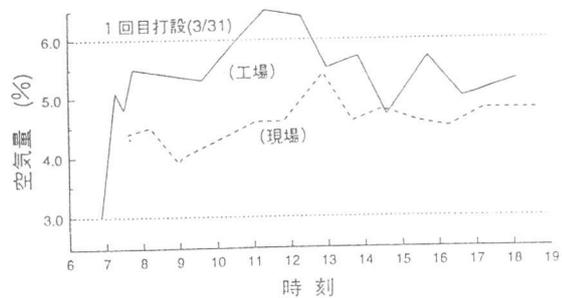


図-9 空気量の変化

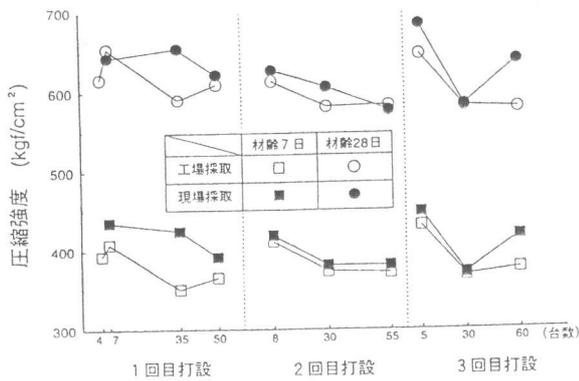


図-10 圧縮強度試験結果

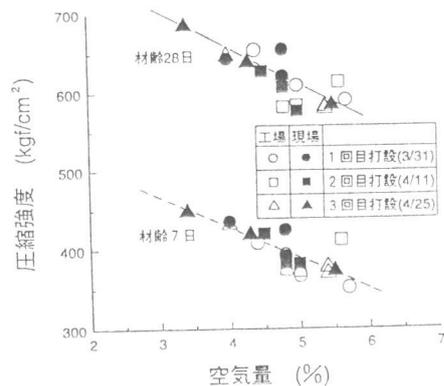


図-11 圧縮強度と空気量の関係

5. 型枠内の充填状況の確認

密閉型枠内のコンクリートの打上り高さや充填度の確認の目的で以下の調査を行った。

- ④後方(板橋側)妻型枠上部からの目視確認(第1回目打設時のみ), ⑤電極式センサーによる打上りの確認(第2, 3回目打設時: 受桁H鋼の上縁に設置した電極にコンクリートが触れると電流が流れてランプが点灯), ⑥ファイバースコープによる充填高さの確認(2回目打設時: 型枠内に設置したφ55mmの透明パイプ中を覗き, 充填高さをスケールにより確認)

1 回目打設時の妻型枠上部からの目視観察によると、充填高さは低い箇所でもパイプルーフの下面から 10~20cm 程度で(写真-1)、1 段下がった小径のパイプルーフ部(図-1 参照)では

下面より上となっており、設計部材厚が達成できていることが確認できた。また、電極式センサーによる充填高さの確認においても、打設終了少し前に、コンクリート配管の切り替えに応じて横断方向に設置した4つのランプが順次点灯し、ほぼ同時にH鋼上縁の高さまで打ち上がったことが確認された。以上のことから、横断方向(約30m)には大きな勾配なくほぼ水平に打ち上がったと判断された。

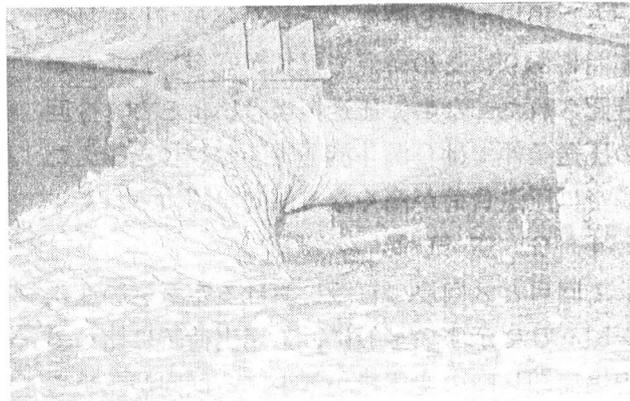


写真-1 妻型枠上部からの観察

ファイバースコープによる打上り高さの計

測結果によると、打設開始後1時間は壁部への充填に費やされ、打設開始約2時間後に壁部の充填を終えて頂版部の充填に移り、徐々に高さが上昇していったことが確認された。頂版部の打上り速度は約0.2m/hで、設計部材厚まで確実に充填できた。さらに、脱型後のコンクリート表面の観察からも、粗骨材分離や沈降等がない良好な品質であったことが確認された。

以上の結果を総合すると、今回の工事においては、高流動コンクリートの高い充填性や品質安定性により、鉄筋や鋼材周囲のコンクリート充填は確実に達成されたものと判断された。

6. ま と め

今回の高流動コンクリートの適用に関して明らかになったことは以下のとおりである。

- (1) 今回のトンネル躯体工の頂版部に適用した高流動コンクリートは、製造プラントの制約により、高炉セメントB種と高性能AE減水剤のみでの対処となったが、配合選定と製造・打設時の品質管理を適切に行うことで十分安定した品質を確保することができた。
- (2) 今回の配合では、30分程度の運搬によりスランプフローは平均9.5cm増加したものの、それ以降の変化は比較的少なかった。また、30分程度の運搬によるO漏斗流下時間の増加は平均0.8秒、空気量の減少は平均0.8%で、これらも比較的安定した結果であった。
- (3) 実施工におけるポンプ圧送性や打設時のセルフレベリング性状も良好であった。
- (4) 目視観察、電極式センサ、ファイバースコープ等による充填性の調査の結果、H鋼で仕切られた密閉型枠内へのコンクリート充填であっても確実に達成できたことが確認された。

末筆ながら、実施工においてご尽力頂いた大林・ハザマ・飛鳥共同企業体職員の皆様と、製造及び品質管理試験にご協力頂いた東邦コンクリート工業(株)、エフ・ピー・ケー(株)の皆様に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 三浦律彦・小松原徹・宮崎信一・入矢桂史郎：超流動コンクリートの過密配筋構造物への適用に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.95-100，1992.6
- 2) 三浦律彦・十河茂幸・入矢桂史郎：細骨材の表面水率の変動が超流動コンクリートの品質に及ぼす影響，コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集(JCI-C28)，pp.37-42，1992.5
- 3) 三浦律彦・近松竜一・青木茂・十河茂幸：高速流動コンクリートに関する基礎研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.1，pp.185-190，1991.6
- 4) 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書(II)，1994.5
- 5) 山口正晃・小坂寛巳・武田幸弘・岩佐浩光：鳥浜地区高架橋柱頭部における高流動コンクリートの適用，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，V-175，pp.350-351，1994.9