

報告 UTR 工法への高流動コンクリートの適用

伊藤祐二*1・高橋昭一*2・三輪恒久*3・中江研介*4

要旨：福島共同溝はJR大阪駅の南西0.7kmに位置した国道2号線下に計画され、新出入橋横過部は重要構造物が近接した地下空間であるため、URT (Under Road Tunnelling) 工法による施工が採用された。本工法によるトンネル覆工は複数の小断面鋼製エレメントを推進した後、エレメント内部にPCケーブルを挿入し、内部にコンクリートを充填する。エレメント内部にはPCケーブルが存在し、エレメント長も50mと長く、良好なトンネル覆工を構築するために、高流動コンクリートの適用を計画した。モデル施工試験により高流動コンクリートの性能と施工方法を確認し、計画通り施工することができた。

キーワード：高流動コンクリート、URT工法、鋼製エレメント、充填、PCケーブル

1. はじめに

福島共同溝・新出入橋横過部は重要構造物が近接した地下空間であるため、URT (Under Road Tunnelling) 工法による施工が採用された。本工法によるトンネル覆工は複数の小断面鋼製エレメントを推進した後、内部にPCケーブルを挿入し、内部にコンクリートを充填する。エレメント内部に充填する中埋コンクリートの品質が危惧されたため、良好なトンネル覆工を構築する目的で、高流動コンクリートの適用を計画した。

本報告は高流動コンクリートの配合、モデル施工試験結果、実施工および管理試験結果について報告する。

2. 高流動コンクリートの必要性

URT工法は主に鉄道路線下横断構造物の施工法として開発された工法であり、下路桁形式としては施工事例も多い。しかし、トンネル形式で、かつ土かぶり厚が8mと大きい施工例は数例しかない。従って、断面耐力の大きい部材が要求され、プレストレストコンク

リート構造にて設計された。図-1にエレメントおよびPCケーブル配置を示す。

エレメントの中埋コンクリートとして、従来は流動化コンクリートが使用されていた。しかし、本工事では、小断面エレメント(標準断面:600mm×1000mm)で長さが50mと長いこと、PCケーブル(シース径φ37.5mm)が750mmまたは1500mmピッチで存在してコンクリート充

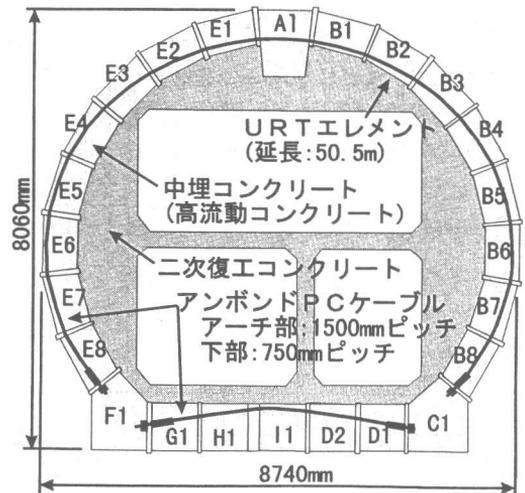


図-1 エレメントおよびPCケーブル配置

*1 (株)フジタ技術研究所 主任研究員 工修 (正会員)

*2 建設省近畿地方建設局 大阪国道工事事務所副所長

*3 建設省近畿地方建設局 大阪国道工事事務所共同溝課長

*4 (株)フジタ大阪支店 堂島共同溝作業所所長

填の障害となること、設計基準強度が $35\text{N}/\text{mm}^2$ と比較的高強度であることから、流動性・材料分離抵抗性・充填性に優れた高流動コンクリートの適用が必要と判断した。

3. 高流動コンクリートの配合

URTエレメント内部に打設される高流動コンクリートには、エレメント端部に設けた打設口から 50m 流動した後、ポンプ圧送圧力によりエレメント内部を充填するだけの流動性と充填性、さらに硬化後には高強度が求められる。そこで、プラントにて小型ミキサによる配合試験および実機ミキサによる試験練りを行い、表-1 および 2 に示す仕様と配合を決定した。高流動コンクリートの水セメント比は設計基準強度 $35\text{N}/\text{mm}^2$ に対応したレディーミクストコンクリートのそれと同一とし、不足する粉体をフライアッシュにて補った。なお、高流動コンクリートの仕様と試験方法は、土木学会・高流動コンクリート研究小委員会「自己充填型の高流動コンクリートの試験方法(案) 1)」を参考に定めた。

4. モデル施工試験

4.1 ワークビリティーの経時変化

エレメントモデル充填試験前に配合を確認するため、実施と同様に現場に高流動コンクリートを搬入し、ワークビリティーの経時変化測定を行った。図-2 にワークビリティー特性の経時変化を示す。高流動コンクリートの流動性と充填性は良好で、45 分経過後のスランプフローが 60cm をわずかに下回ったも

の、充填性はほとんど低下しなかった。

表-1 高流動コンクリートの仕様

試験項目	仕様
スランプフロー	$65 \pm 5\text{cm}$
500mm フロー到達時間	3~10 秒
空気量	$4.5 \pm 1.5\%$
漏斗流下時間 (V_{65})	10 ± 5 秒
充填高さ(U形)	300mm 以上
圧縮強度(材齢 28 日)	$35\text{N}/\text{mm}^2$ 以上

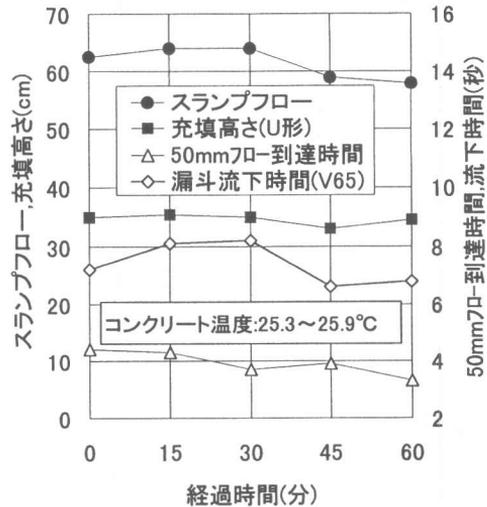


図-2 ワークビリティー特性の経時変化

4.2 エレメントモデル充填試験

この試験はエレメントへの高流動コンクリートの施工方法を確認する目的で、現場敷地内に組み立てたエレメントモデル(幅 87cm, 高さ 80cm, 延長 25m)に高流動コンクリートをポンプで打設し、端部を 150cm 高さまで立上げた。モデル端部を立上げたのはエレメントの勾配(1%)を考慮したためである。この際、高流動コンクリート受入れ時のワークビリティー

表-2 高流動コンクリートの配合

最大粗骨 材寸法 (mm)	水セメント比 (%)	水結合 材比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m^3)							
				水	セメント*1	フライアッシュ*2	砕砂*3	海砂*4	砕石*5	SP	AE
20	43.8	35	50	175	400	100	234	542	794	8.5	0.04

*1:高炉セメントB種, 比重 3.04, 比表面積 $4040\text{cm}^2/\text{g}$ *2:比重 2.30, 比表面積 $3460\text{cm}^2/\text{g}$
*3:表乾比重 2.57, 吸水率 1.50% *4:表乾比重 2.57, 吸水率 1.79% 混合砂粗粒率 2.69
*5:表乾比重 2.63, 吸水率 0.95%, 粗粒率 6.72
SP:ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 AE:変成アルキルカルボン酸系AE剤

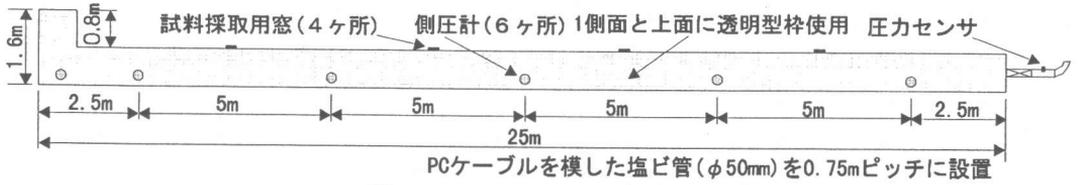


図-3 エレメントモデル側面

一試験および強度試験用供試体作成，高流動コンクリートの流動勾配測定，流動後のワーカビリティ試験，ポンプ圧送圧力の測定，型枠に作用する側圧の測定，および硬化後のモデル構造体コンクリートの物性試験を行った。図-3にエレメントモデル側面を示す。型枠の1側面と上面を透明パネルにより作成し，高流動コンクリートの流動性を目視できるようにした。なお，モデル長を25mとしたのは試験用地の関係であり，モデル試験の結果を回帰して，近似式を用いて外挿ではあるが流動距離50mでの硬化後物性を推定することとした。

4.3 ワーカビリティ特性

モデル施工試験は水結合材比が高流動コンクリートと等しい先送りモルタル(スランプ:21cm)を，500ℓ打設後に高流動コンクリートの打設を行った。交通渋滞により1台目のアジテータ車の現場到着が遅れ，スランプフローは51.5cmであったので，高性能AE減水剤の現場添加にて調整した。この結果をプラントに連絡し，2台目以降のアジテータ車の出荷時スランプフローを調整した。

エレメントモデルへの打設中に，型枠上部に設けた試料採取窓より高流動コンクリートを採取してワーカビリティ試験を行った。図-4にワーカビリティ試験結果を示す。流動距離20m以降ではワーカビリティ特性が乱れているが，これは高流動コンクリートが先送りモルタルと混ざり合ったことによると考えられる。このことについては硬化コンクリートの試験結果も裏付けている。

なお，エレメントモデルに打設された高流

動コンクリートの流動性は良好で，流動勾配は1.9~2.2%であった。

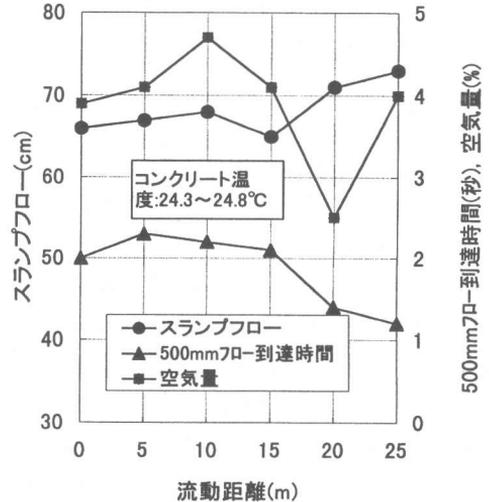


図-4 ワーカビリティ試験結果

4.4 ポンプ圧送圧力および側圧

コンクリート打設口(高さ0.4m)近くの吐出管に圧力センサを取り付けてポンプ圧送圧力を測定するとともに，型枠側面に作用する側圧(高さ15cm位置)を測定した(図-3参照)。

代表的な圧力測定結果を図-5に示す。高流

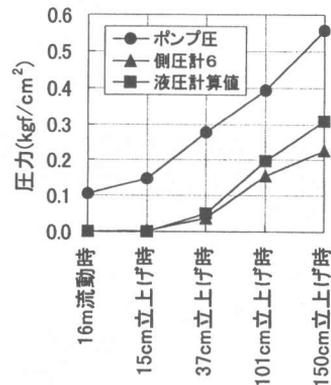


図-5 圧力測定結果

動コンクリートの自重がどの程度側圧として作用するかを、立上げ部直下に設置した側圧計6の測定圧力より、コンクリート比重を2.3と仮定して、打設終了直後の値から計算すると、作用率は75%であった。なお、コンクリートポンプには中型ピストン車(最大出力:285ps, 最大吐出量:115m³/hr, 最大ピストン前面圧力:75kgf/cm²)を用い、圧送速度15m³/hrで使用した。このときの主油圧は10~15kgf/cm²であり、常用圧力160kgf/cm²に比べて十分余裕があった。

4.5 硬化コンクリートの特性

エレメントモデルの仕上がり状況を写真-1に示す。エレメントモデルの構造体強度を確認するために、材齢7日において流動方向5箇所からコアを採取した。コアは高さ方向で切断、φ10×20cmに整形後、標準養生を行い、材齢28日にて圧縮強度および単位容積質量を試験した。高さ80cmまでの供試体(3体)の平均を図-6に示す。圧縮強度は設計基準強度を十分満足している。また、コア採取位置による強度変化は流動距離18.8mまでは明瞭でないが、流動距離24.6mの場合には明らかに強度低下が認められる。なお、単位容積質量の試験結果もほぼ同様の傾向を示している。コアの強度試験結果より、施工実験により得られたエレメントモデル構造体は所要の性能を十分満足していると言える。

同様に、コア側面の粗骨材面積率測定結果を図-7に示す。平均粗骨材面積率は流動距離18.8mまではそれほど低下していないが、24.6m

位置では大きく低下している。先送りモルタル500lを高流動コンクリートに先立って打設していることを考慮すると、先送りモルタルと高流動コンクリートが混ざり合った結果であると考えられる。

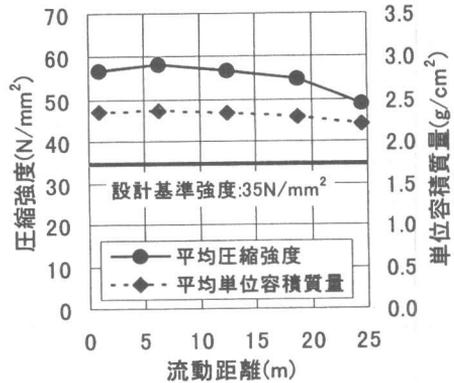


図-6 コア供試体の試験結果

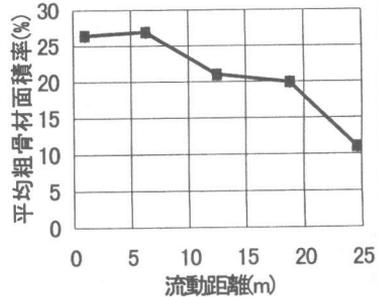


図-7 コア供試体の粗骨材面積率測定結果

5. URT工法への適用

5.1 高流動コンクリートの施工

高流動コンクリートの打設は1日当たり4~6体の6回に分けて行い、発進側端部から到達側端部へ50mの距離をポンプ圧送した。モデ

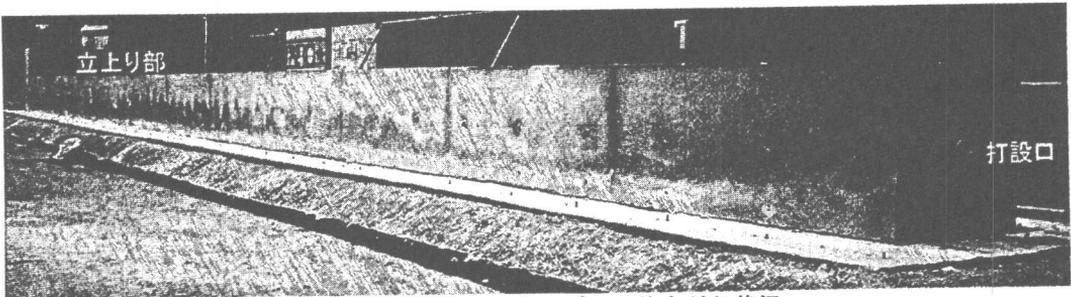


写真-1 エレメントモデルの仕上がり状況

ル試験によると先送りモルタルの影響により、流動距離 25m 付近の構造体強度や粗骨材面積率が低下しているものの、設計上必要な強度は十分満足している。実施工においてはエレメント 1m 当りの先送りモルタル量を、2分の1に減少させることにした。

発進立坑脇にコンクリート用および先送りモルタル用ポンプ車を1台づつ準備し、各エレメントの発進側端部中央にストップバルブ付打設口(5B管)を、到達側端部最上部に空気抜きを設けた。高流動コンクリートの打設は、ポンプ車のブーム先端を立坑内部に降ろし、先送りモルタル 500ℓをエレメント内部に圧送した後、コンクリート用圧送管を打設口と接続し、高流動コンクリートを打設した。打設の終了は到達側端部空気抜きより、先送りモルタルを十分排出した後、ポンプ圧送を中止し空気抜きを閉塞して、立坑内鉛直下り配管内のコンクリート圧力でエレメント内部コンクリートに圧力をかけた状態で、ストップバルブを閉塞した。

5.2 高流動コンクリートの管理

高流動コンクリートの管理基準は表-3とし、ワーカビリティ仕様が基準を外れた場合には高性能 AE 減水剤の現場添加で調整した。図-8に管理試験結果を示す。高流動コンクリートのスランプフローは比較的安定しており、高性能 AE 減水剤による調整は1エレメントの

み行った。

表-3 高流動コンクリートの管理基準

試験項目	仕様	試験頻度
スランプフロー	65±5cm	50m ³ またはエレメント
500mm フロー到達時間	3~10 秒	毎に1回
空気量	4.5±1.5%	
圧縮強度 (標準, 現場水中養生)	35N/mm ² 以上	150m ³ またはエレメント 毎に1回

5.3 高流動コンクリートの硬化後特性

各エレメント毎の圧縮強度(材齢 28 日)を図-8に示す。現場水中および標準養生のいずれの場合も、安定していることが分かる。

また、H1エレメントの50m流動端部より鉛直コア(長さ1m)を材齢7日にて採取し、上下3体の試験体を整形、標準養生を行い、材齢28日にて硬化後特性を求めた。図-9にコア供試体の試験結果を示す。H1エレメントコ

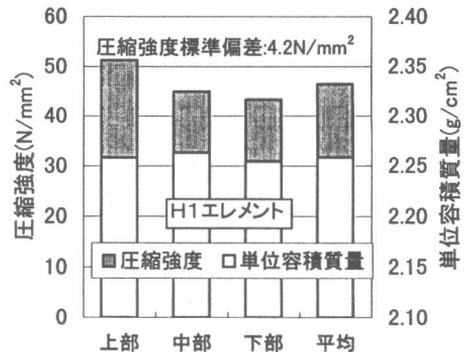


図-9 コア供試体の試験結果

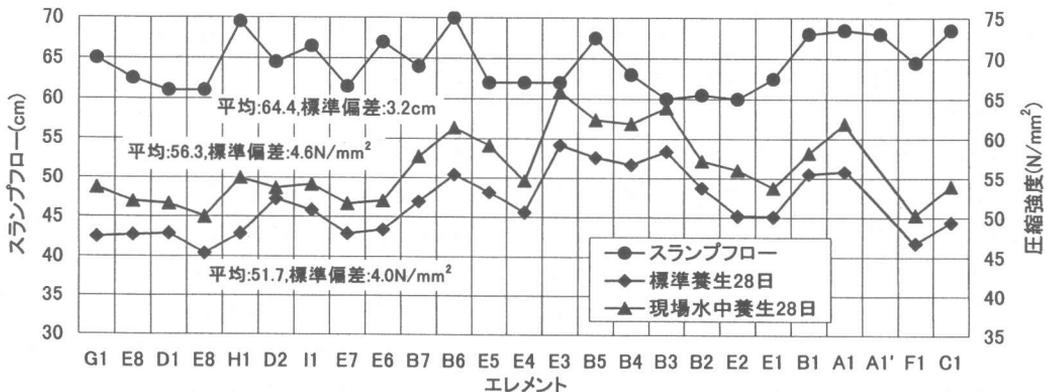


図-8 管理試験結果

アの平均強度は標準養生供試体強度に近い値を示し、標準偏差も同程度であった。一方、コア側面の粗骨材面積率は平均で 23.2%であった。

5.5 モデルと実施工の比較

ここでは、エレメントモデル試験および実施工において、採取したコア供試体の試験結果を比較する。モデル試験においては先送りモルタルの影響で、流動距離 24.6m 位置での結果が乱れているので、流動距離 18.8m までのデータより近似曲線を求め、50m での値を外挿ではあるが推定した。図-10および11に圧縮強度と粗骨材面積率に関して示す。

モデル試験結果から推定した流動距離 50m におけるコアの圧縮強度は、H1エレメントの標準および現場水中養生供試体強度の中間であり、H1エレメントのコア強度より 6N/mm^2 程度大きかった。

また、平均粗骨材面積率についてはモデル試験より 50m 流動位置において、19%程度と推定されたが、H1エレメントコアによると小さめの推定値であった。

H1エレメントのコア供試体試験結果より、URTエレメント内に高流動コンクリートを50mの片押しで充填しても、硬化後の品質に問題ないことが明らかとなった。

6. まとめ

プレストレストコンクリート構造にて設計されたURT工法への、高流動コンクリートの適用について、高流動コンクリートの配合、モデル施工試験結果、実施工および管理試験結果を以下にまとめる。

- ①高流動コンクリートのワーカビリティの経時変化は比較的小さく、現場到着後 45 分程度は施工可能であった。
- ②高流動コンクリート打設時の流動勾配はポンプ圧送時に 2%前後の値であり、大きな圧送圧力は必要としなかった。
- ③高流動コンクリートの打設により自重(比重

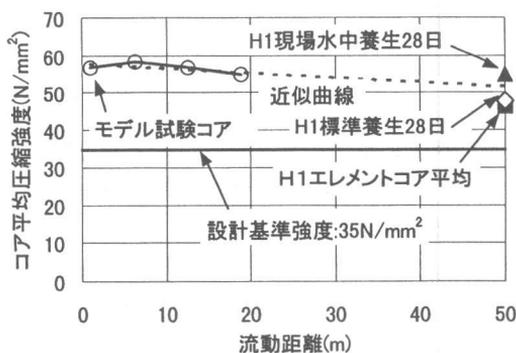


図-10 コア供試体圧縮強度の比較

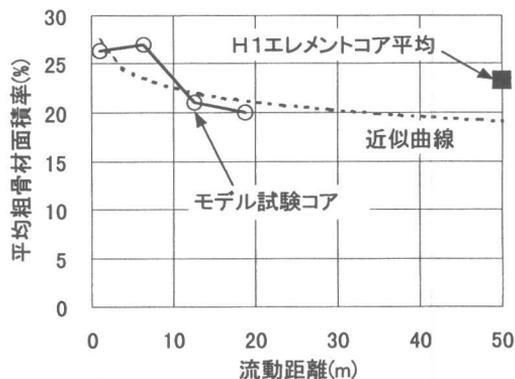


図-11 コア供試体粗骨材面積率の比較

2.3 と仮定)の 75%が側圧として作用したと推定できた。

- ④実施工における高流動コンクリートの品質は安定していた。
- ⑤URT工法への高流動コンクリートの適用により、エレメント($l=50\text{m}$)内部に片押しで充填することが可能であった。
- ⑥エレメント端部より採取したコアの試験によると、強度等の硬化後品質は設計を十分満足した。

参考文献

- 1) 高流動コンクリートに関する技術の現状と課題, pp. 2-20, 1996.12, 土木学会
- 2) 伊藤祐二ほか: 石灰石粉末を用いた高流動コンクリートによる既設構造物直下での施工, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No. 1, pp. 201-206, 1996. 6