

真空ポンプを併用した長大外ケーブルのグラウト実物大試験と施工
 —東海環状自動車道 津保川橋—

㈱銭高組 土木事業本部土木本部技術部 正会員 ○布下 浩
 国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所 服田 洋一
 ㈱銭高組 名古屋支店土木部 堀場 宗明
 ㈱銭高組 土木事業本部土木本部技術部 正会員 野永 健二

1. はじめに

現在、東海環状自動車道は名古屋市の周囲 30~40km 圏を環状に連絡する高規格幹線道路として整備が進められている。津保川橋は、東海環状自動車道の一部として岐阜県富加町に位置するPC 3径間連続ラーメン箱桁橋で、長良川水系津保川を横断する中央径間長が 126m の長大橋である。また本橋ではPC鋼材配置に内外併用方式が採用されており、外ケーブルについては経済性の観点から中間定着を最小限にしたため、桁端部に定着される外ケーブルの最大延長が 265m となった。表-1 に主な国内の外ケーブルの実績を示すが、本橋は最大級のケーブル長である。

表-1 国内の主な外ケーブル実績

橋梁名	施主	橋長 (m)	外ケーブル長 (m)
津保川橋	中部地方整備局	266.0	265.0 ※
立川橋	日本道路公団	417.0	220.0
島の洞高架橋	中部地方整備局	198.0	196.8 ※
八田川橋	近畿地方整備局	245.5	194.0 ※
木曾川橋	日本道路公団	1145.0	177.0
七色3号橋	奈良県	230.0	134.0
加須良橋	日本道路公団	131.0	125.0

※印は、グラウトタイプ

2. PCグラウト実物大試験

2.1 試験概要

本橋の外ケーブル (フジネ-工法 19S15.2) は前述したとおりケーブル長が最大 265m と国内最大級であり、施工実績も少ない。従来の注入ポンプによるグラウトでは、ケーブル保護管 (PE管) 内の圧力が過大となり、PE管接続部からグラウトが流出する不具合が懸念された。PE管内圧力の上昇を抑制するためには、注入口の盛り換え (ステップバイステップ式) 回数を多くし、一回の注入延長を短くする必要がある。これにより作業効率は低下し、注入時間の増大が予想され、グラウトの品質低下が懸念された。そこで本橋においては、グラウトの充填性の向上と作業能率の改善を目的として、外ケーブルを対象に国内で初めて真空ポンプを併用したPCグラウト注入工法を採用することとした。

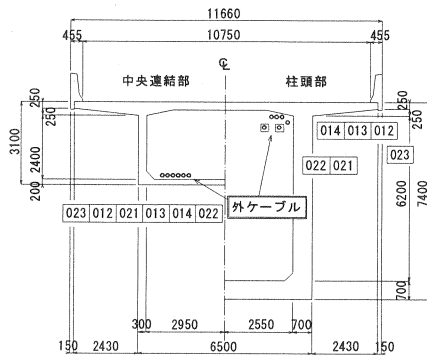


図-2 標準断面図

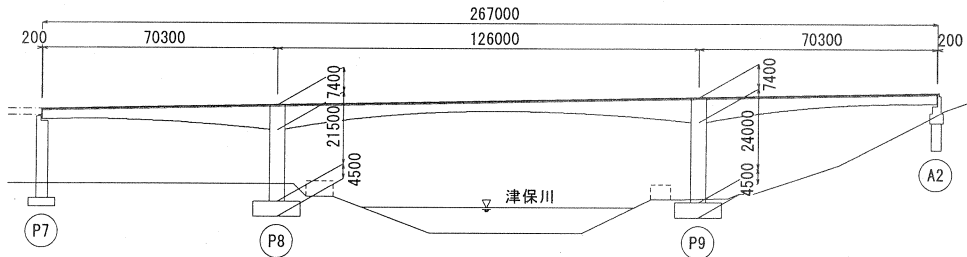


図-1 全体構造一般図

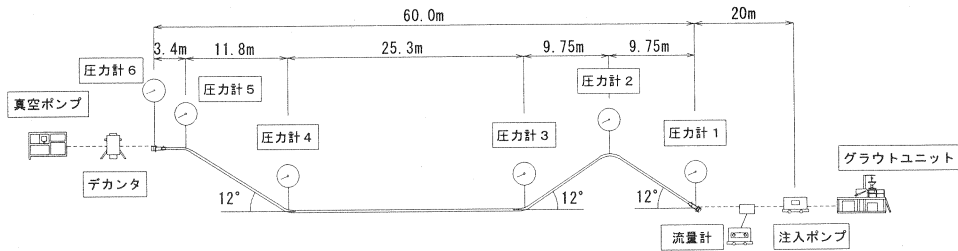


図-3 実物大試験の供試体ケーブル形状図

真空ポンプ併用グラウト工法とは、従来の注入ポンプによるグラウト圧送だけでなく、排出側に真空ポンプを配置し吸引力を併用した工法である。今回使用する真空ポンプは1気圧(0.1MPa)を0.001~0.010MPa程度にまで減圧する能力を有しているものである。以降、気圧0.010MPa程度を便宜上、真空と呼ぶこととする。また、本橋での実施工を前に真空ポンプ併用グラウト工法によるグラウトの充填率向上と、注入作業が確実に行えることを確認するため、FKKの協力を得て実物大試験を実施したり。図-3に実物大試験の供試体ケーブル形状図を、表-2に供試体の概要を示す。供試体は実施工と同様の材料で、ケーブル延長が60mのものを3種類製作し、混和剤の種類と真空ポンプ併用の有無を試験要因とした。なお、シース内部にはPC鋼材を挿入して実構造物と同等のシース内部の空隙率を再現している。ただし鋼材は無緊張とした。

2.2 試験方法および試験項目

実物大試験では供試体ごとに6箇所圧力計を配置し、真空時およびグラウト注入時において30秒間隔でPE管各部の圧力を計測した。

真空ポンプ併用工法の作業工程を以下に記す。

- ①ケーブルの注入側にPCグラウトユニットを、排出側に真空ポンプを接続する。
- ②注入側のバルブを閉め、中間排気ホースを閉塞し、真空ポンプを作動してシース内部を真空にする。
- ③PE管に設置した圧力計で-0.09MPaまで減圧したことを確認後、注入側のバルブを開放し注入ポンプを作動させて注入を開始する。注入ポンプの吐出量は、注入圧力の相違を確認するため供試体の種類によらず10~12ℓ/minの範囲で一定になる様に保つ。なお、注入作業中は真空ポンプを常時作動させる。

測定結果は、経過時間、注入延長とPE管内圧力の関係を確認し、グラウト注入時の管理データとして用いた。同時に、各ゲージにグラウトが到達した時間を記録し、「真空ポンプと注入ポンプ併用」と「注入ポンプのみ」の場合におけるグラウトの注入時間の比較を行った。

2.3 結果および考察

(1) PE管内の圧力変化測定結果

注入口付近の管内圧力の計測結果を図-4に示す。Type1(注入ポンプのみ)供試体とType2(真空ポンプ併用)供試体の管内圧力差は、注入前の管内圧力の差(0.1MPa)が注入終了時まで継続している。本試験の様に流入速度を一定(10~12ℓ/min)とした場合は、注入延長あたりの圧力増加は注入方法によって変化しない結果となった。

表-2 供試体概要

供試体	グラウト注入方法	使用混和剤	W/C
Type1	注入ポンプ	ポゾリス(GF-1720)	43%
Type2	真空+注入ポンプ	ポゾリス(GF-1720)	43%
Type3	真空+注入ポンプ	コンベックス208ネオT	45%

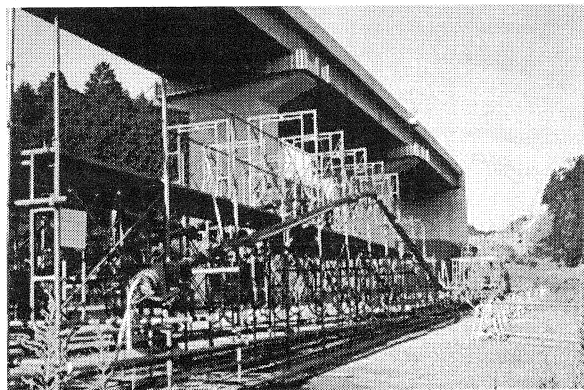


写真-1 実物大試験状況

また、管内圧力の計測結果をまとめると以下のとおりとなる。

【最大PE管内圧力 (圧力計1)】

●Type1 (注入ポンプのみ) : 0.30MPa

●Type2 (真空ポンプ併用) : 0.18MPa

【注入延長あたりの圧力増加 (圧力計1)】

●0.30 (MPa) / 60.0 (m) = 0.005MPa/m

以上から、管内圧力は注入延長が 20m で 0.1MPa 上昇することになる。つまり真空ポンプを併用することにより、注入延長を 20m 増加することが可能となる。また、この試験に先立って実施したPE管の耐圧試験の結果によると、管内圧力が 0.45MPa 以上になった時点で、PE管継手部からのグラウト流出が発生し始めることが確認されていた。この時点ではパッド補強を行うことにより更に大きな圧力に耐えられることを確認していたが、安全側に実施工でのPE管内圧力の管理値 (上限値) を 0.40MPa とし、1回の注入延長は以下の計算により 75m 以下となるように決定した。

$$l_{max} = (0.40 / 0.005 + 20.0) / \alpha = 75.0m \text{ 以下} \quad \ast \alpha : \text{安全率}(=1.25)$$

またType2 (真空ポンプ併用) の注入ポンプ圧力とPE管内圧力の計測結果を、図-5に示す。この結果から、本試験の流入速度に対して注入ポンプ圧力とPE管内圧力 (圧力計1) の圧力差は、ホース延長が 20m に対して約 0.2MPa であった。実施工では注入ポンプのホース延長を最長 100m で計画しており、実施工における管理値として、PE管内圧力と併せて、注入ポンプ圧力の上限値も以下のとおり設定した。

$$\sigma_{in-max} = 0.40 + 0.20 \times (100/20) / \alpha = 1.20MPa \quad \ast \alpha : \text{安全率}(=1.25)$$

(2)グラウト注入時間 (注入速度) の測定

実物大試験でグラウトが各圧力計の位置に到達した時間および圧力計の配置間隔から単位時間当たりのグラウト進行速度を表-3に示す。すべての供試体において流入速度を 10~12 m/min と一定に保ったため、注入時間に大きな差は生じなかった。しかし注入ポンプのみの場合より真空ポンプ併用の方が、初期注入時でのグラウト進行速度が約 2 倍程度速いことが確認できた。また Type3 は同じ真空ポンプ併用の Type2 と比べると、混和剤の粘性の差によりグラウトの進行速度は 25%程度遅くなる結果が得られた。

(3)グラウト充填状況の確認

グラウトの充填状況を確認するために、グラウト硬化後にPE管を取り除き充填状況の確認を行った。目視による確認の結果、真空ポンプ併用タイプの方が注入ポンプのみによる Type1 に比べ、下り傾斜部から下り平行部に移行する箇所において、予想された先流れ空隙の発生も抑制されており、その効果を確認することができた。

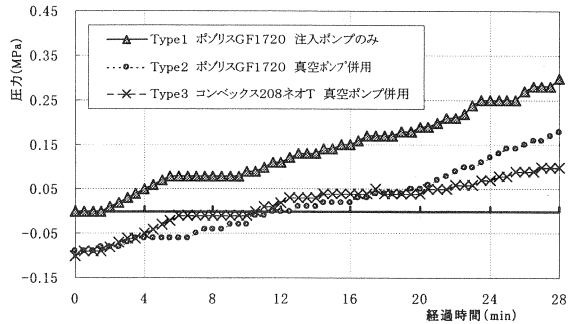


図-4 管内圧力計測結果 (圧力計1)

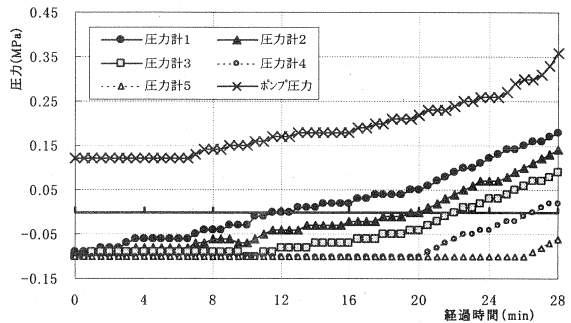


図-5 管内圧力分布図 (Type2)

表-3 グラウト到達時間の比較

		区間1	区間2	区間3	区間4	区間5	区間6
区間延長	m	20.00	9.75	9.75	25.30	11.80	3.40
Type1	min	1:45	4:40	10:54	21:27	27:06	29:30
	(m/min)	(11.4)	(3.3)	(1.6)	(2.4)	(2.1)	(1.4)
Type2	min	0:56	3:01	7:55	19:35	25:54	28:00
	(m/min)	(21.4)	(4.7)	(2.0)	(2.2)	(1.9)	(1.6)
Type3	min	1:27	4:45	11:30	24:13	32:33	35:30
	(m/min)	(14.8)	(1.4)	(0.3)	(0.2)	(0.2)	(0.6)

3. PCグラウト実施工

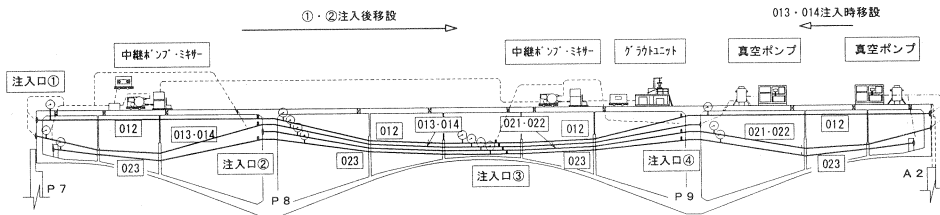


図-6 グラウト設備配置図

実物大試験の結果を踏まえて、本橋外ケーブル全 12 本のグラウト注入時の機材配置、中間排気ホース、注入口、圧力ゲージなどの配置計画を図-6 のように決定した。当初、最長外ケーブルの施工計画は 1 回の最大注入長を 73m とし、3 回の盛り換えができる計画とし、A2 側に真空ポンプを配置し P7 側 (縦断勾配低い側) から A2 側へ注入することとした。また、注入口は P7, P8, 中央併合部, P9 の 4 箇所準備し、圧力計も全 4 箇所配置した。なお、グラウト配合を表-7 に示す。混和剤はノンリージングタイプとし、高粘性型の混和剤 (ボリス GF1720) を使用した。

表-4 グラウト配合表

	水セメント比 W/C (%)	セメント C (kg)	水 W (kg)	混和剤 P (kg)
1 m ³ 当り	45	1303.8	586.7	13.0
1 バッチ 当り	45	100.0	45.0	1.0

図-7 は 012 鋼材の PE 管内圧力測定データである。実施工においては、P8 注入口圧力計の圧力上昇が少ないことから、中央径間部注入口③

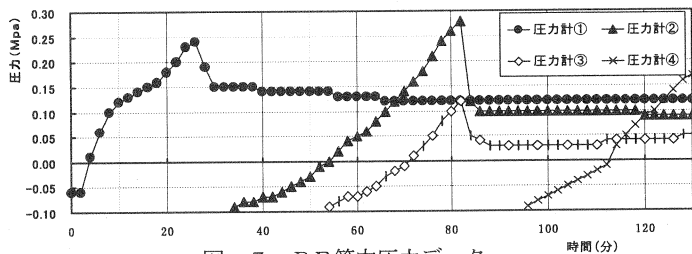


図-7 PE 管内圧力データ

を通過させて P9 注入口④まで一気に注入することができた。最大長 265m の外ケーブルのグラウト注入は、PE 管内部の最大圧力が 0.28MPa、注入時間 135 分、盛り換え回数 2 回での施工となり、結果的に実現した最大連続注入長は 110m となった。

本橋では真空ポンプを併用することにより、PE 管内の圧力増加を抑制し注入延長を伸ばせたため、盛り換え回数を減らすなど、注入時のタイムロス を最小限に抑えてトラブルなく施工することができた。また、PE 管の固定点検や圧力増加量を管理しながら注入作業を実施したことにより、PE 管の蛇行や接続部の大きな抜け出しは見られなかった。しかし、定着部や偏向部前後の接続部分においては加圧時に一部グラウト漏れが確認された。今後は、接続部の補強方法と真空状態に至るまでの施工精度の向上が技術的課題である。

4. 終わりに

近年、経済性や将来的なメンテナンスの観点から PC 工法は外ケーブル配置した橋梁が増え、ケーブル長も長大化の傾向が見られる。本橋梁の施工報告が今後計画される橋梁の参考になれば幸いである。津保川橋の長大外ケーブルの設計・施工にあたり、ご指導ご協力いただきました関係者各位に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内山、野永、山口 : PC グラウト注入における真空ポンプと注入ポンプ併用の効果、第 25 回コンクリート工学講演会、2003.07

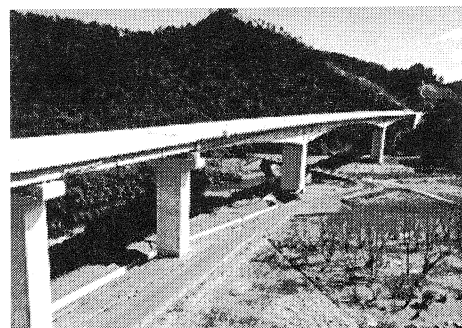


写真-2 津保川橋竣工写真