

論文

[1047] 高強度コンクリートの高所圧送性に関する研究

正会員○竹内研一 (J R 東日本建設工 事 部)

正会員 石橋忠良 (J R 東日本東北工 事 事務 所)

正会員 大庭光商 (J R 東日本東北工 事 事務 所)

1. はじめに

P C斜張橋青森大橋 (仮称) の主塔部は、高強度コンクリート ( $\sigma_{ck}=600\text{kg/cm}^2$ ) を採用することにより、自重低減及び美観を考慮したスレンダーな構造としている (図-1)。主塔部のコンクリートは、ピストン前面圧80kg/cm<sup>2</sup>の高圧仕様のポンプ車を用いて最上部まで圧送する計画である。 $\sigma_{ck}=600\text{kg/cm}^2$  の高強度コンクリートを地上約80mまでポンプ圧送した例はなく、高所圧送時の性状を事前に予測することは困難であった。そのため、圧送高さが低い初期の施工段階から圧送管の管内圧力測定を随時行い、高所圧送時の性状を予測しながら施工している。現在、2基の主塔のうち先行するP10側主塔では11ロットまでコンクリートの打設を終了しており、管内圧力測定も3回実施した。本研究は、現在までに得られた3回の管内圧力測定データに基づき、80m圧送時の性状を予測すると共に、高強度コンクリートの高所圧送時の特性を明らかにする事を目的とするものである。

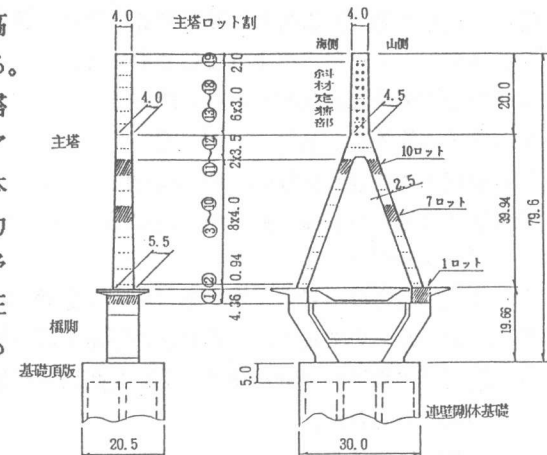


図-1 主塔形状

2. 測定条件

管内圧力測定は、1, 7及び10ロットのコンクリート打設時に実施した。各ロットのコンクリートの配合を表-1に、圧送条件を表-2に示す。管内圧力の測定は、圧

表-1 配合

打設ロット	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	目標スランプフロー (cm)	目標空気量 (%)	混和剤添加量 (高性能AE減水剤) (対セメント重量%)
1	25	31.4	39	135	430	40~55	4.5±2	2.35~2.50
7	25	35.0	40	135	386			2.50~2.70
10	25	33.8	40	135	400			2.80~2.90

送管の途中数カ所に設置したひずみゲージ式圧力変換器により、生コン車1台毎に行った。配管は6B管を使用し、地上に配置したポンプ車から水平配管約20mを経た後、橋脚天端まで鉛直に約20m配管し、その後は打設ロットまで主塔に沿って傾斜 (約71°) 配管とした (図-2)。圧送管の筒先にはフレキシブルホースを配し、更にその先端にサニーホースを設置した。

表-2 管内圧力測定時の圧送条件

打設箇所	1ロット山側	7ロット山側	10ロット海側 10ロット山側
打設日	7/11	10/30	12/11
打設数量 (m <sup>3</sup> )	1.43	4.8	8.4
打設高 (m)	4.36	4.00	4.00
ポンプ車仕様	吐出量 : 15~110 m <sup>3</sup> /h ピストン前面圧 : 80 kg/cm <sup>2</sup> (高圧時) 50 kg/cm <sup>2</sup> (標準時)		
圧送高さ (m)	約20m	約41m	約53m
配管 (6B管)	水平 : 約20m 鉛直 : 約20m	水平 : 約20m 鉛直 : 約20m	水平 : 約20m 鉛直 : 約20m
*傾斜は約71°	傾斜 : 約2.2m 傾斜 : 約3.5m		
測定項目 (生コン車1台毎)	・コンクリートの品質 (スランプ, スランプフロー, 空気量, 温度) ・ポンプ車主油圧 ・配管内コンクリート圧力 (4~5ヵ所)		

### 3. 測定結果及び考察

#### 3.1 測定結果の概要

測定データを打設ロット別に集計した結果を表-3に示す。表中、ポンプ前面圧(P0)はポンプ車主油圧から算定した値であり、管内圧力(P1~P5)は圧力変換器の出力から算定した値である。また、設定吐出量はポンプ車の運転条件によって定まる理論上の吐出可能量であり、実吐出量は生コン車1台分のコンクリート圧送に要した時間より算定した値である。なお、管内圧力損失については、圧送管を水

表-3 管内圧力測定結果

		(括弧内の数値は標準偏差)			
打設ロット		1	7	10	全体
サンプル数		22	8	12	42
圧送前スランプロ(cm)		34.0~53.0	33.8~46.5	43.5~55.0	33.8~55.0
コンクリート温度(°C)		24.0~26.0	18.0~21.0	12.0~16.0	12.0~26.0
設定吐出量(m³/h)		20~32	28~35	35~50	20~32
実吐出量(m³/h)		27.6(10.1)	20.2(5.3)	35.6(4.7)	23.5(9.6)
ポンプ前面圧P0(kg/cm²)		24.9(6.3)	40.1(3.1)	41.6(2.5)	32.6(9.5)
圧送管 管内圧力 測定値 (kg/cm²)	P1	17.4(4.0)	46.7(5.4)	43.9(3.0)	
	P2	14.6(3.1)	22.2(1.5)	24.1(1.4)	
	P3	13.2(3.1)	19.5(1.0)	23.5(1.3)	
	P4	8.3(1.9)	13.1(1.1)	15.7(0.9)	
	P5		4.7(3.4)	9.4(2.0)	
圧力 損失 測定 値 (kg/cm²/m)	水平管圧力損失	0.252 (0.134)	2.006 (0.406)	1.111 (0.144)	0.832 (0.718)
	曲り管圧力損失	1.345 (0.735)	2.712 (1.079)	0.675 (1.106)	1.414 (1.138)
	鉛直管圧力損失	0.446 (0.121)	0.335 (0.032)	0.412 (0.055)	0.415 (0.101)
	傾斜管圧力損失		0.495 (0.245)	0.213 (0.071)	0.326*1 (0.216)

\*1) サンプル数=20

管内圧力損失については、圧送管を水平管部、曲り管部、鉛直管部、傾斜管部に分け、管内圧力測定結果

(P1~P5)より以下のようにして求めた。

- ・水平管圧力損失(kg/cm²/m)=(P1-P2)/L1
- ・曲り管圧力損失(kg/cm²) = P2-P3
- ・鉛直管圧力損失(kg/cm²/m)=(P3-P4)/L2
- ・傾斜管圧力損失(kg/cm²/m)=(P4-P5)/L3

#### 3.2 圧送効率

図-3は、設定吐出量と圧送効率(=実吐出量/設定吐出量)との関係を示したものである。圧送高さが53mと高い10ロット打設時にも、設定吐出量30~50m³/h程度で90%を超える圧送効率が確保出来るケースが見られた。

#### 3.3 管内圧力損失

図-4は実吐出量と水平管圧力損失との関係を示したものである。

これによれば、水平管圧力損失は打設ロットによる差が大きく、7ロット打設時の値が最も大きい。6B管を使用した場合の普通コンクリートの水平管圧力損失の標準値が、吐出量10~60m³/hの範囲で0.05~0.15kg/cm²/mとされている<sup>1)</sup>のと単純に比較すると、20倍近い値を示すケースも見られる。図-5は水平管部の管内圧力(P1とP2の平均値)と水平管圧力損失

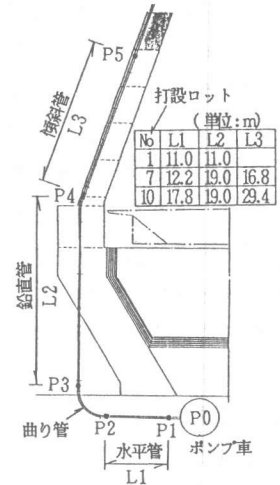


図-2 管内圧力測定位置

の関係を示したものである。これより、水平管圧力損失が管内圧力と高い正の相関を示していることがわかる。

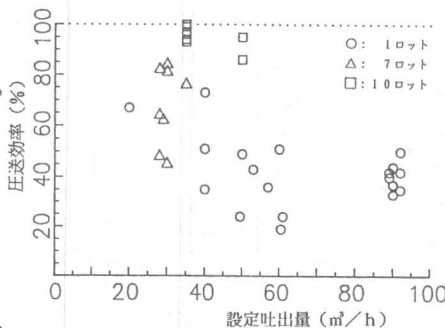


図-3 設定吐出量と圧送効率の関係

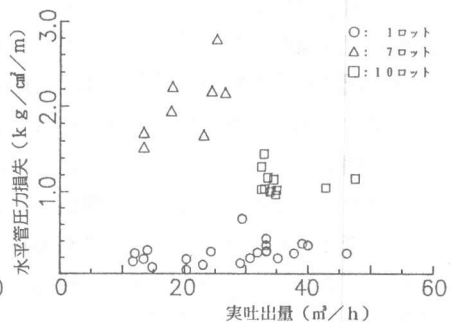


図-4 実吐出量と水平管圧力損失の関係

即ち、圧送高

さが高い7, 10ロット打設時には、水平管圧力損失測定箇所の圧力(P1, P2)が1ロット打設時より高いため、圧力損失量が増えたものと考えられる。また、圧送高さが7ロットより高い10ロットで水平管圧力損失が7ロットより小さくなる傾向を示しているのは、10ロット打設時に単位セメント量、混和剤添加量を若干増やすなど配合を変えたためと思われる(表-1参照)。

図-6は圧送前スランプフローと曲り管圧力損失の関係を示したものである。これより、曲り管圧力損失は圧送前スランプフローと弱い負の相関関係にあることがわかる。また、曲り管部の管内圧力(P2とP3の平均値)と曲り管圧力損失の関係を図-7に示す。これによれば、曲り管圧力損失と管内圧力の関係は不明確で、圧送前スランプフローが平均的に低かった10ロット打設時には管内圧力が高いにも係わらず曲り管圧力損失は最も低い値を示している。

図-8は実吐出量と鉛直管圧力損失の関係を示したものである。これによると、鉛直管圧力損失は打設ロットによる差が少なく、実吐出量20~40m<sup>3</sup>/h程度の範囲で、圧送高さによらず0.25~0.60kg/cm<sup>2</sup>/m程度となる。図-9は鉛直管部の管内圧力(P3とP4の平均値)と鉛直管圧力損失の関係を示したものである。これより、管内圧力が20kg/cm<sup>2</sup>程度までの範囲で増加しても鉛直管圧力損失はあまり変化しないことがわかる。

### 3. 4 ポンプ前面圧

主塔最上部打設時の圧送高さは約80mであり、同一条件で圧送した場合ポンプ前面圧は10ロット打設時よりさらに増加することが予想される。そこで、10ロットまでの測定データを基に、80m圧送時のポンプ前面圧を予測することとした。なお、ここでは実施工において操作可能な設定吐出量で解析を行う。

図-10は設定吐出量とポンプ前面圧の関係を示したものである。これより、ポンプ前面圧は1ロット打設時には10~30kg/cm<sup>2</sup>程度であり、設定吐出量を大きくすると増加する傾向が見られる。また、圧送高さが高い7, 10ロット打設時には35~45kg/cm<sup>2</sup>程度となる。

以上の結果を踏まえて、圧送高さ、圧送前スランプフロー、設定吐出量を説明変数とし、ポンプ前面圧を説明する重回帰式を推定した結果、次式を得た。

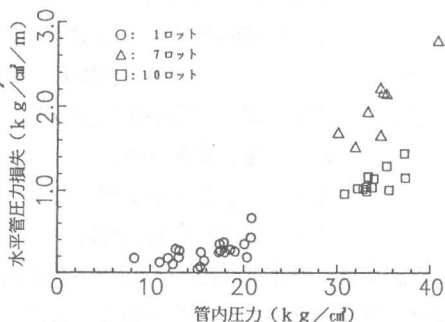


図-5 管内圧力と水平管圧力損失の関係

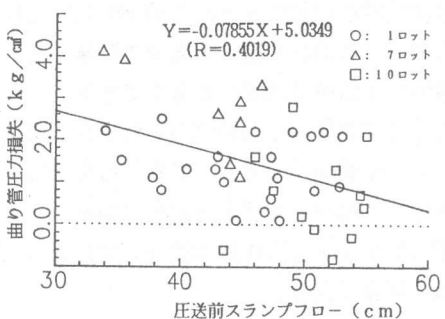


図-6 圧送前スランプフローと曲り管圧力損失の関係

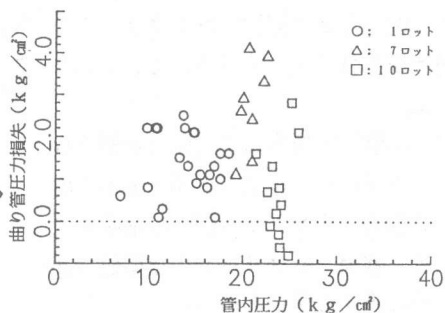


図-7 管内圧力と曲り管圧力損失の関係

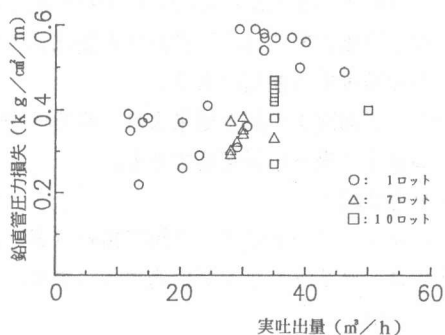


図-8 実吐出量と鉛直管圧力損失の関係

$$P_0 = 0.8290 \times H - 0.4324 \times S F + 0.2163 \times V_s + 13.3920$$

<相関係数  $R = 0.9330$ >

ここに、 $P_0$  : ポンプ前面圧 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
 $H$  : 圧送高さ (m)  
 $S F$  : 圧送前スランプフロー (cm)  
 $V_s$  : 設定吐出量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

上式より、設定吐出量を  $30\text{m}^3/\text{h}$  とした場合の圧送高さ  
とポンプ前面圧の関係を予測した結果を図-11に示す。  
上記回帰式の圧送高さに対する偏回帰係数の95%  
信頼区間を計算すると  $0.8290 \pm 0.1124$  となる。図中、  
実線はこの信頼区間の上限値で計算したものであり、  
破線は下限値で計算したものである。これによると、  
設定吐出量を  $30\text{m}^3/\text{h}$  程度とした場合、圧送前スランプ  
フローが  $40\text{cm}$  程度であっても  $80\text{m}$  圧送時のポンプ前面  
圧が  $77.9\text{kg}/\text{cm}^2$  を超える確率は小さく、ポンプ車の性能  
(ピストン前面圧最大  $80\text{kg}/\text{cm}^2$ ) から圧送可能である  
と判断できる。

#### 4. まとめ

管内圧力測定結果より、設計基準強度  
 $600\text{kg}/\text{cm}^2$  の高強度コンクリートの  
高所圧送性に関して以下のことがわか  
った。

○水平管圧力損失は管内圧力が高くな  
ると増加し、圧送高さ  $40 \sim 50\text{m}$  程度  
の場合、ポンプ車付近の水平管で  
は、普通コンクリートの標準値の20  
倍に達する場合もある。

○鉛直管圧力損失は、圧送高さ  $40 \sim 50\text{m}$  程度までは、実吐出量が  $20 \sim 40\text{m}^3/\text{h}$  程度において、圧送  
高さによらず  $0.25 \sim 0.60\text{kg}/\text{cm}^2/\text{h}$  程度となる。

○曲り管圧力損失は、圧送高さが増してもあまり変わらず、圧送前のスランプフローが増加す  
ると減少する傾向にある。

○ポンプ前面圧の測定結果より、高所圧送性を予測した結果、設定吐出量  $30\text{m}^3/\text{h}$  とすれば  $80\text{m}$  の  
高さまで充分圧送可能である。

#### <参考文献>

- 1) コンクリートのポンプ施工指針(案), コンクリートライブラリー, No57, 土木学会, 1985
- 2) コンクリートポンプ圧送マニュアル, 全日本コンクリート圧送事業団体連合会技術委員会, 1983
- 3) 竹内・岩本・大庭: 高強度コンクリートの高所ポンプ圧送について, 土木学会東北支部講概集, 1990

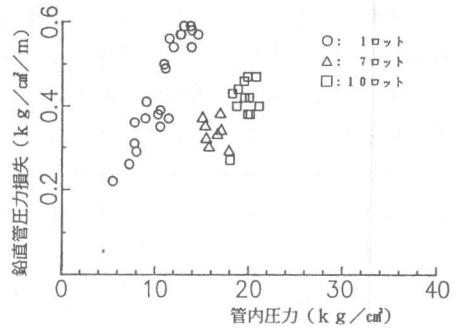


図-9 管内圧力と鉛直管圧力損失の関係

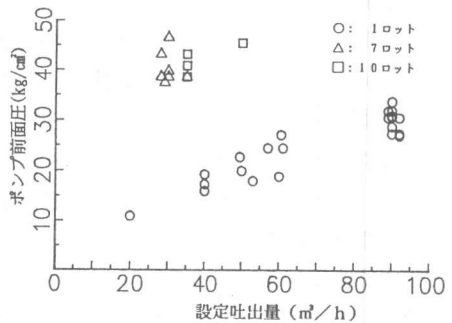


図-10 設定吐出量とポンプ前面圧の関係

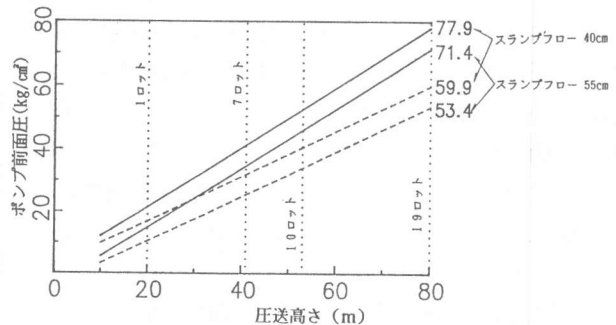


図-11 圧送高さとポンプ前面圧の関係