

3. コンクリート打込み計画

3.1 ポンプ圧送工法

円形状の底版を10ブロックにわけ、10台のポンプ車で圧送した。地上部ではポンプ車から9m配管し、そこから垂直管で地下4.6mへ配管した。地下では垂直ベンド管から約1.2mの部分にストップバルブをつけた。ストップバルブはポンプ車から圧送開始3秒後に開き、圧送終了3秒後に閉じるように設計した。これにより垂直管にコンクリートが常に充填されているように工夫した。また、コンクリートができるだけ水平に打上がるように、1ブロックに4箇所の分岐バルブで分配し、適時17箇所の落とし口から移動しながら打設した。

3.2 コンクリート使用材料と配合

設計基準強度は240 kgf/cm²、目標

スランプは12.0±2.5 cm、空気量は5.0±1.0%である。連続打設となるため建設所から30 km以内の14のレディーミクストコンクリート工場から供給した。代表的なコンクリートの材料、配合を表-1に示す。

3.3 ポンプ車の性能

ポンプ車は理論吐出量15～110 m³/hのピストン式で最大ピストン前面圧が50～80 kgf/cm²のものを使用した。

4. 管内圧力の測定方法

配管に計6個の圧力計をとりつけ、コンクリート圧力を歪ゲージに伝え、それを地上の動歪記録計で測定を行った。配管状態を図-1、2に、圧力計取付け部を図-3に示す。

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	S/A (%)	(kg/m ³)				AE減水剤 (C×%)
		W	C	S	G	
5.5	4.8	152	276	878	951	1.0

(目標スランプ12.0±2.5cm、空気量5.0±1.0%)

C:フライアッシュ混入低熱高炉セメント AE:ポソリスNo.70LH

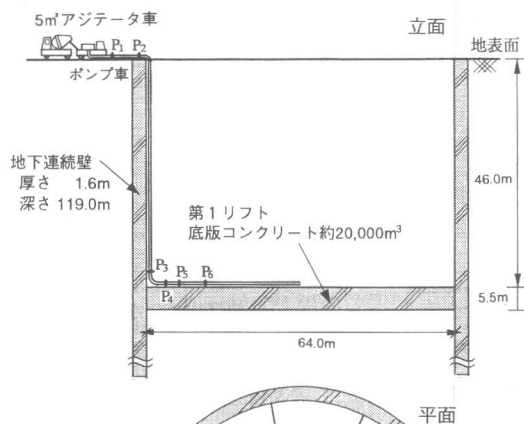


図-1 地下タンクの概要と圧力計配置図

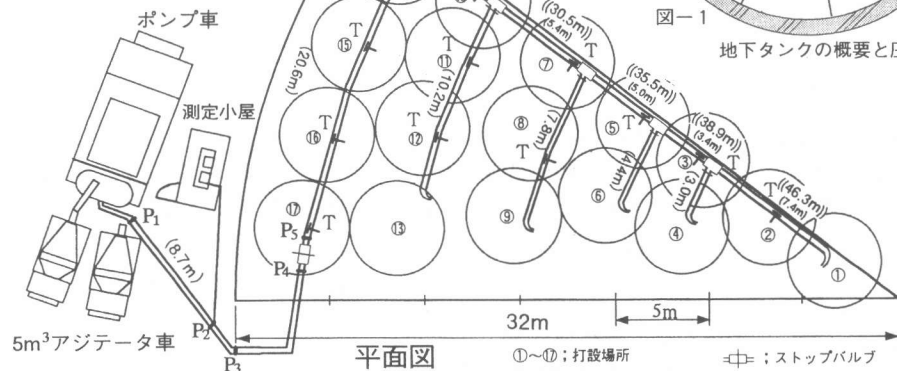


図-2 底版コンクリート打設計画と配管

- ①～⑰; 打設場所
- P₁～P₆; 圧力計
- () ; 水平管長さ
(ベント管除く)
- ([]); 累計下部水平管長さ
(ベント管除く)
- ⊞; ストップバルブ
- ≡; 分岐バルブ
- T ; T字バルブ

圧力測定を約1時間毎に行い、打設時刻、配管状態、ピストン油圧等を記録した。またアジテータ車1台あたりのコンクリート圧送時間をストップウォッチで測定し平均実吐出量(m^3/h)を求めた。

5. 測定結果

5.1 実測管内圧力

約1時間毎に管内圧力測定を行い、No.1～57のデータとして整理した。圧力測定チャート

の一例を図-4に示す。「コンクリートを圧送している時(流動時)から圧送が停止してストップバルブが閉じた時」まで1回の測定で連続約30秒～1分間記録した。圧送時のP1～P6の実測圧力を図-5に示す。実測圧力は図-4の矢印部、すなわち圧送時では圧力の最大値、ストップバルブが閉じた時では圧力が一定となった値とした。P1の圧力は約1～19 kgf/cm^2 の範囲であった。

5.2 吐出量、配管長さ

ポンプ圧送時の測定No.、吐出量、配管長さ等の打設記録を表-2に示す。コンクリート実吐出量は46～118 m^3/h の範囲であり、水平配管実長さは約55～20mと打設場所によって変化した。

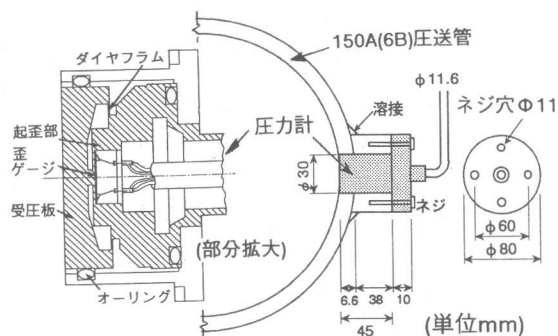


図-3 コンクリート配管と圧力計

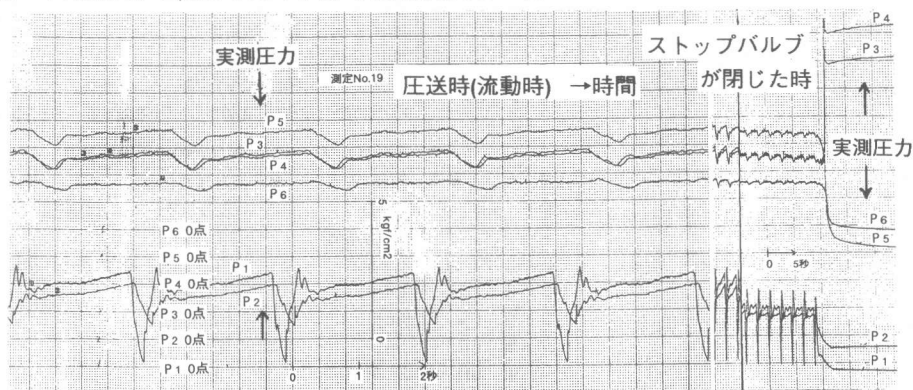


図-4 圧力測定チャートの例

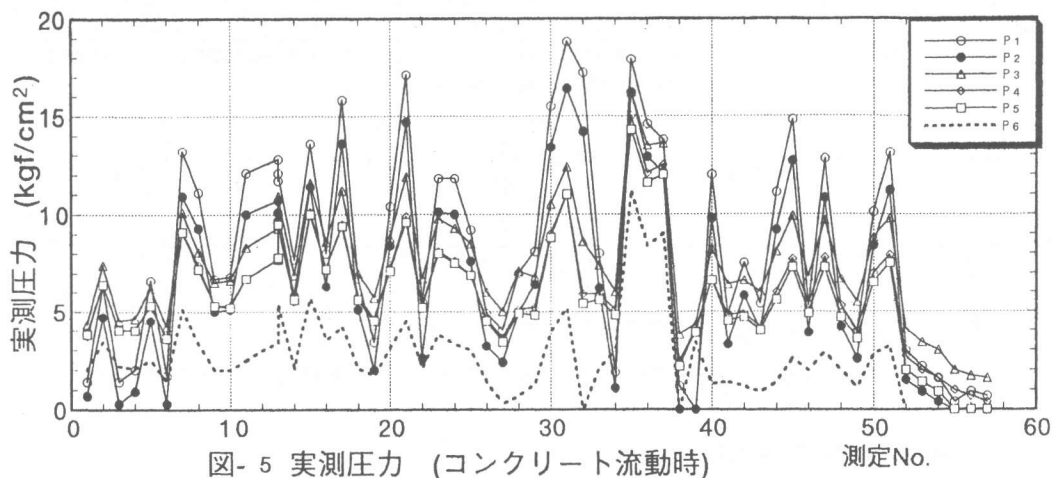


図-5 実測圧力（コンクリート流動時）

5.3 圧送前後のスランプ、空気量

荷卸時の品質管理値は、スランプの平均が12.7cm(標準偏差1.1cm)、空気量の平均が4.7%(標準偏差0.4%)であり、いずれも目標値以内であった。圧送前後でスランプ、空気量を測定した結果、圧送による差は殆どなかった。

6. 圧力分布の考察

6.1 水平換算長さ

実際の配管長さとは対比させて、水平換算長さを図-6に示す。この場合、分岐バルブ、T字管、ベント管等の水平換算長さは表-3のようにした。すなわち、土木学会{1}の換算値のある場合はそれに従い、換算値のない場合は表-3のように仮定した。

このようにして求めた今回の最大長さは、打設場所①の136m、最小は打設場所⑬の85mであった。

6.2 最大負荷圧力

配管全体の最大負荷圧力は、圧力計P1の圧力で評価した。最大負荷圧力は約1～1.9 kgf/cm²であり、吐出力や配管長さ等に影響されたため大きく変化している。

6.3 ストップバルブの圧力上昇

ストップバルブが閉じた時は、図-4、図-7のように垂直管の中のコンクリートが充填して静止し、地下部の圧力計

表-2 ポンプ圧送打設記録

*1 (ゴ)ゴムホース有

測定No	時刻時:分	吐出力(m ³ /h)	*1配管長さ(m)	測定No	時刻時:分	吐出力(m ³ /h)	*1配管長さ(m)
1	7:12	52	55.0①	31	7:24	95	50.6④
2	7:23	49	55.0①	32	7:58	100	33.8⑩
3	8:27	46	55.0①	33	9:10	106	44.0⑬
4	8:47	83	55.0①	34	9:37		51.2⑨(コ)
5	9:24	71	51.6②	35	10:13	82	51.2⑦(コ)
6	10:27	76	44.2⑤	36	10:29	86	51.2⑦(コ)
7	11:30	94	55.0①	37	11:20	93	51.2⑤(コ)
8	11:52	106	47.6③	38	12:05		51.2⑩(コ)
9	13:45	109	44.2⑤	39	12:23	55	44.0⑬
10	14:38	106	44.2⑤	40	13:27		43.4⑧
11	15:13	108	44.2⑤	41	13:51	110	40.9⑫
12	15:30	102	44.2⑤	42	14:07	101	44.0⑬
13	15:41		47.6③	43	15:20	110	47.0⑨
14	16:10	103	44.2⑤	44	16:07	111	44.2⑤
15	18:05	105	55.0①	45	17:03	107	37.3⑪
16	18:20	109	51.6②	46	18:06	106	44.0⑬
17	19:30	107	48.6⑥	47	19:16	103	49.0⑬
18	20:00	93	44.2⑤	48	20:22	118	49.0⑬
19	20:07	84	44.2⑤	49	20:46	112	47.0⑬
20	21:01	101	47.6③	50	21:28	106	49.0⑬
21	22:01	100	47.6③	51	22:38	103	43.9⑫
22	23:03	91	48.6⑥	52	0:12	112	29.3⑭*2
23	23:59	102	48.6⑥	53	1:05	114	29.3⑭*2
24	1:03	107	48.6⑥	54	2:12	109	25.3⑮*2
25	2:23	108	44.0⑬	55	3:10	75	28.3⑮*2
26	3:00	110	37.3⑪	56	3:27	77	19.7⑯*2
27	3:35	102	33.8⑩	57	3:53	101	19.7⑯*2
28	3:58	102	33.8⑩				
29	5:09	115	42.4⑫				
30	6:36	101	48.6⑥				

*1 ポンプ車から水平のみの距離、ベンド管含まず、○打設箇所

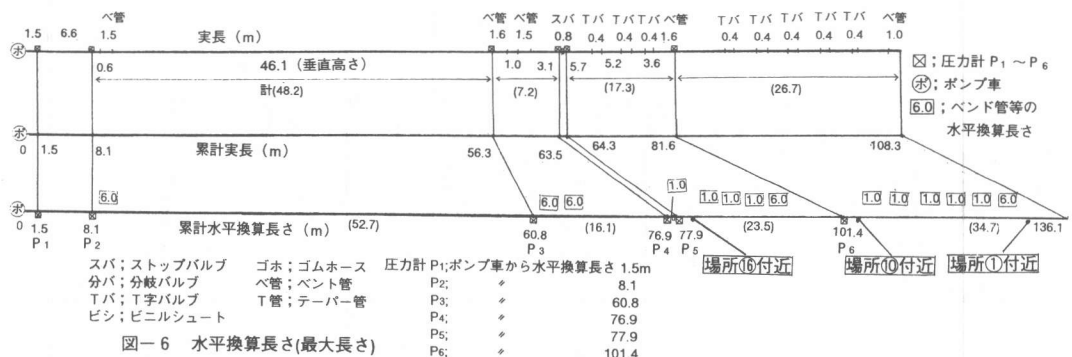
*2 圧力計P1からはこの値から1.5mを減ずる *2 圧力計P6取り外す

表-3 バルブ、ベンド管などの水平換算長さ

機器、ベンド管等、管径(実長さ)	水平換算長さ(m)	備考
SLP管、水平、6B、(3.0m)	3.0 *2	一般の配管
ストップバルブ、6B、(0.6m)	1.0 *2	
分岐バルブ、6B、(0.6m)	6.0 *2	直角状の圧送に使用の場合
T字バルブ、6B、(0.4m)	1.0 *2	
ベント管、6B、(1.5m)	6.0 *1	
ベント管、6B、(1.0m)	6.0 *2	
テーパ管、6B→4B (2.5m)	15.0 *1	
フレキシブルホース、4B、(7m)	20.0 *1	ゴムホース
ビニルシュート、6B、(5.0m)	0.0 *2	(今回は配管長さに含めず)
SLP管、垂直、6B(3.0m)	3.0 *2	水平と垂直を同一とした

*1 土木学会コンクリートライブラリー第57号、昭和60年11月による換算値

*2 換算値がないため仮定した値



P3,P4にはコンクリートの自重による圧力が作用するため圧力が上昇する。この時に地上部の圧力計P1点およびP2点の圧力は0～1 kgf/cm²となった。

6.4 コンクリート自重圧力

自重圧力はストップバルブが閉じた時の圧力計P3とP2の圧力差から求めた。自重圧力PJの理論値は次のようになる。

$$PJ=(\gamma/10)\times H=(2.3/10)\times 46=10.6 \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

γ ;コンクリートの単位容積重量(t/m³) H;垂直高さ(m)

P3とP2の圧力差を図-7に示す。No.1は打設初期であり、No.39は配管段取り替え作業のため圧力の変動が大きかったため除外した。

自重圧力の平均

は9.5kgf/cm²であり、コンクリートが管内にすべて充填されたとした場合の理論値の約90%であった。自重圧力が小さいことには、管内壁とコンクリートとの摩擦等が考えられるが確認できなかった。

6.5 1m当たりの圧力損失

1m当たりの圧力損失 $\Delta P/\ell$ (kgf/cm²/m)は次のように求めた。

- ・水平管の $\Delta P/\ell$;(P5点とP6点との圧力差) / (P5点とP6点の換算距離=23.5m)
- ・垂直管の $\Delta P/\ell$;(P2点とP3点との圧力差) / (P2点とP3点の換算距離=52.6m)

P2点の圧力はコンクリート自重9.5kgf/cm²を加え、自重による影響を補正した。P2点とP3点の換算距離は52.6m(垂直46+水平6.6)とした。吐出量と $\Delta P/\ell$ の関係を図-8, 9に示す。実測値はバラツキが大きく、吐出量が大きくなると $\Delta P/\ell$ が大きくなる傾向がある。このバラツキは、スランプの変動、ピストンの油圧や速度の変動等のためと考えられる。

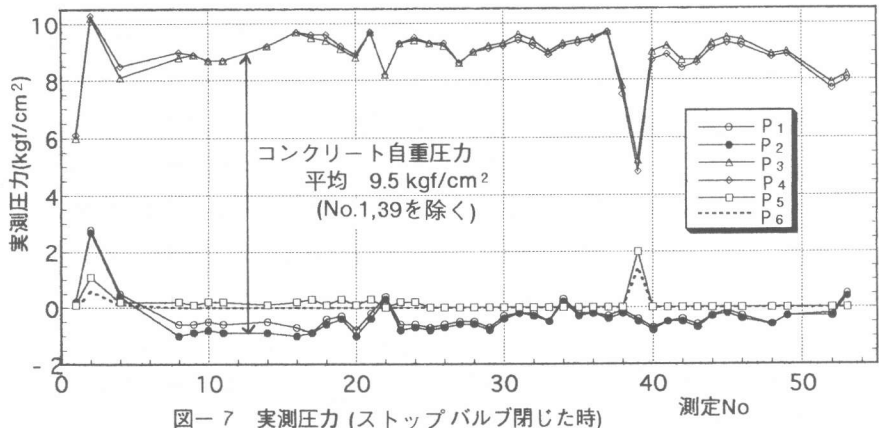


図-7 実測圧力 (ストップバルブ閉じた時)

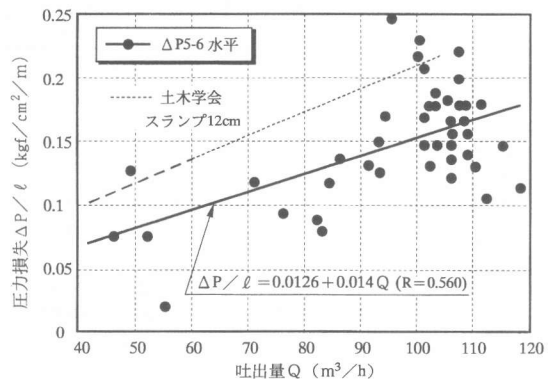


図-8 吐出量と圧力損失(水平方向)

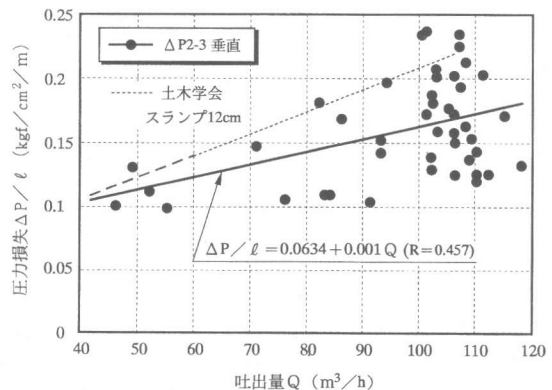


図-9 吐出量と圧力損失(垂直方向)

図-8, 9には土木学会ポンプ施工指針(案) {1} の $\Delta P/\ell$ も示した。なお、吐出力 $60\text{m}^3/\text{h}$ 以上は指針の値から外挿したものである。土木学会の値は今回の実測値のバラツキの上限に近い値であった。また今回の垂直管の 1m 当たりの圧力損失は水平管の圧力損失と同程度であった。

6.6 算定圧力分布と実測圧力分布

図-10は、測定前に吐出力(1m 当たりの圧力損失 $\Delta P/\ell$ が異なる)と圧力分布の関係を算定したものである。吐出力が小さいと垂直上部P2の圧力はコンクリートの自重が下方へ作用し負圧になることが示され、コンクリートの自由落下による材料分離等による閉塞が予想された。算定圧力からは負圧にならない吐出力下限値は $60\text{m}^3/\text{h}$ であった。

図-10の算定圧力はポンプ圧送以前に計算したものであり、計算では、P1, P2の圧力は自重理論値 $10.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ を減じた値である。

負圧が最も心配されたのは、地下部水平配管の最も短い打設場所⑬付近の場合である。

図-11に実測圧力を示す。算定値と実測値の圧力の絶対値は異なるが比較的類似した圧力分布を示している。打設場所⑬の落とし口において同程度の吐出力での圧力の絶対値が一致しないのは、 $\Delta P/\ell$ および自重圧力等の換算値が異なるためである。圧力のモニタリングの結果から、約 $90\text{m}^3/\text{h}$ 以上の吐出力にすれば負圧は生じないと判断し、実際の圧送の吐出力の下限値とした。このように圧送管理をすることにより、約 $20,000\text{m}^3$ の下方への圧送は閉塞することなく施工できた。

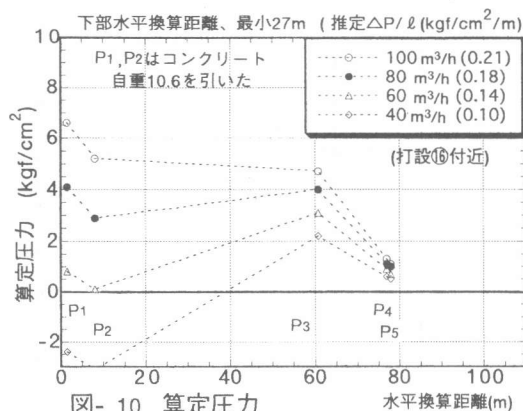


図-10 算定圧力

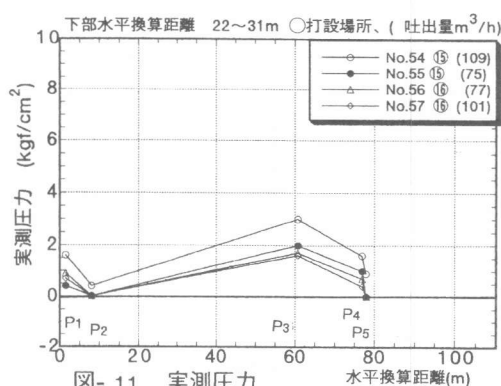


図-11 実測圧力

7. まとめ

地下タンクの底版コンクリートの打ち込みを地上から地下 $4\sim 6\text{m}$ の下方へポンプ圧送で行った。その際コンクリート配管内の圧力測定を行い次のような結果を得た。

- (1) 水平管 1m あたりの圧力損失 $\Delta P/\ell$ は、吐出力約 $100\text{m}^3/\text{h}$ で、約 $0.15\text{kgf}/\text{cm}^2/\text{m}$ で、土木学会の値は今回のデータのバラツキの上限にあった。垂直管の圧力損失は水平管のそれと同様であった。
- (2) 地下約 $4\sim 6\text{m}$ への垂直管のコンクリート自重による圧力は約 $9.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ となり、管内にすべて充填された場合の理論値の約 90% であった
- (3) 管内圧力がコンクリート自重により負圧になることが心配されたが、吐出力下限値を約 $90\text{m}^3/\text{h}$ とすることで、すべて正圧で圧送できた。

参考文献 {1} 土木学会「コンクリートポンプ施工指針(案)」昭和60年11月コンクリートライブラリー第57号
謝辞 現場計測に当たり、知多エル・エヌ・ジー(株)の方々に御指導、御支援をいただき、また清水・大林・鹿島・大成共同企業体及び清水建設(株)技術研究所の御協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。