

論文

[1041] 硬練りコンクリートのポンパビリチー評価試験法に関する
実験的研究

正会員 ○ 高山 俊一 (九州工業大学工学部)
 正会員 渡辺 明 (九州工業大学工学部)
 宮崎 太 (九州工業大学大学院)
 松竹 和久 (九州工業大学大学院)

1. まえがき

現在、現場におけるコンクリート打設には、広くコンクリート圧送ポンプが使用されている。ポンパビリチーは、一般に管内圧力から算出される圧力損出で示され、水セメント比40~60%の普通のコンクリートの場合、主にスランプでポンパビリチーを判断している。しかしながら、高強度コンクリート、ハイドロクリート及びノンブリージング型コンクリートの様に粘性に富んだコンクリートでは、スランプ20cm以上になっても圧力損失が著しく大きく、ポンパビリチーをスランプで評価することの困難さが認められる。そこで筆者らは、スランプ試験と異なる方法で、打設現場でポンパビリチーを簡単に判断できないかと考え、いくつかの方法・測定器を試行してきた。

2. 模型コンクリート圧送実験の概要

2.1 模型コンクリート圧送装置

図-1に模型コンクリート圧送装置¹⁾を示す。圧送管は、外径80mm、内径70mmとし、高圧力にも耐えられるように管厚を5mmとした。管の両端にはジャッキが装備されていて管内のコンクリートを左右に移動させることが可能である。管内圧力は2、5、8、10、15および20 kgf/cm²の6段階に、ジャッキ速度は、5、10、15、20および30cm/sの5段階に、簡単な操作で切り換えることができるようになっている。管内圧力を測定するため圧力変換器を4箇所に取り付けた。

2.2 実験方法

(1) 使用材料、配合及びコンシステンシー試験

セメントには普通ポルトランドセメント(比重3.15)を使用し、細骨材には遠賀郡芦屋産の海砂(比重2.55、粗粒率2.74)を、粗骨材には硬質砂岩の碎石(最大寸法15mm、比重2.74、粗粒率6.41)をそれぞれ用いた。高強度コンクリートには高性能減水剤を、普通コンクリートには一部AE剤を使用した。コンクリートとしては通常使用されている普通コンクリート(W/C50%、一部W/C35~45%も使用)と、材令28日の圧縮強度が約

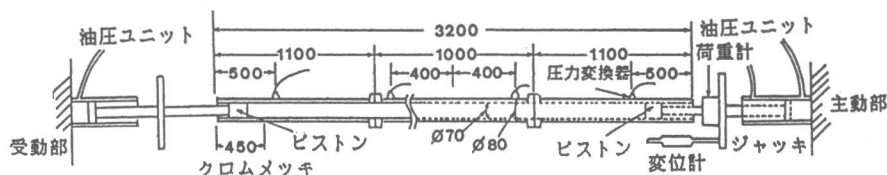


図-1 コンクリート圧送試験装置

600kgf/cm²を有する高強度コンクリート（W/C 28%、単位セメント量約570kgf/m³）の2種類とした。表-1には配合の一例を示す。

表-1 コンクリート配合の一例

コンクリートの種類	目標スランプ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	目標空気量(%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 M, V
普通コンクリート	18	50	48	4	185	370	805	937	V:74g
普通コンクリート	10	50	48	4	177	354	821	956	V:35.4g
高強度コンクリート	20	28	45	2	153	571	733	963	M:8.57kg

フロー（ASTM C 124）の各試験および筆者らが考案した羽根貫入試験などを行った²⁾³⁾。フロー値は次のようにして算出した。

$$\text{フロー値 (\%)} = \frac{A(15) - A(0)}{A(0)} \times 100$$

A(0)：打撃回数0回時の平均直径（cm）

A(15)：打撃回数15回時の平均直径（cm）

3. 模型コンクリート圧送実験結果および考察

図-2には、圧力損失とスランプの関係を示す。図中の白印と黒印の設定速度は、それぞれ10cm/secと30cm/secである。同図によると、圧力損失は高強度コンクリートの場合約0.5kgf/cm²/m以上を、普通コンクリートでは約0.5kgf/cm²/m以下を示している。圧力損失とスランプの関係は高強度コンクリートでは、下に凸の放物線が引けそうな実験結果となったが、スランプが大きい場合にはばらつきが大きく明かでない。普通コンクリートの圧力損失はスランプが大きくなるにしたがって僅かに減少傾向を示しているものの、全体的に測定値のばらつきが大きくスランプと圧力損失の関係は明かでない。コンシステンシーの違いによる圧力損失の相違をスランプで表すことはできないものと考えられる。

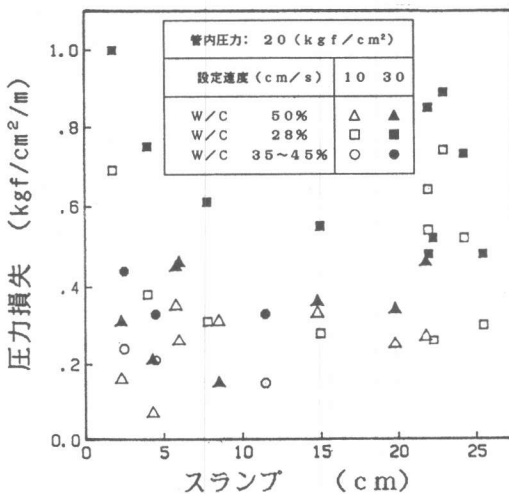


図-2 スランプと圧力損失の関係

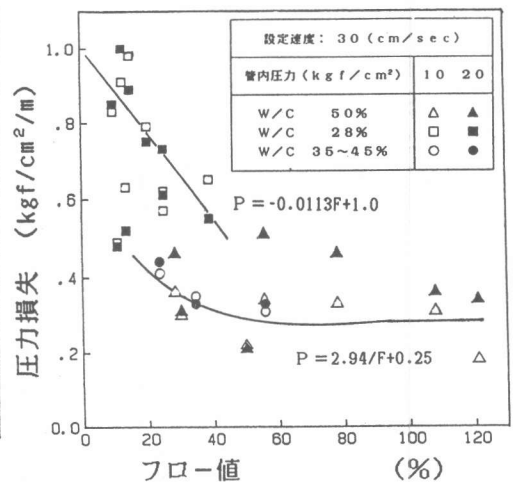


図-3 圧力損失とフロー値の関係

圧力損失とフロー値の関係を図-3に示す。図中の回帰曲線は高強度コンクリートと普通コンクリートそれぞれに対し示したものである。同図によると、両コンクリートともフロー値が小さくなるほど圧力損失が減少しており、筆者らが行ったこれまでの結果と一致している⁴⁾。高強度コンクリート（フロー値は40%以下の狭い範囲に限られる）でフロー値20%以下の場合の圧力損失は0.5~1.0kgf/cm²/m とかなりばらついている。普通コンクリート（フロー値は30~120%と広い範囲にわたっている）の圧力損失は0.2~0.5kgf/cm²/mと小さく、高強度コンクリートにくらべてその範囲が狭い。このことから、普通コンクリートはフロー値が20~30%の硬練りコンクリートの場合でも同一フロー値の高強度コンクリートの圧力損失に比べて約1/2程度であることがわかり、コンクリートの圧送性がより良好であるといえる。高強度コンクリートの圧力損失が大きな理由には、その粘性が極めて大きいことがあげられる。高強度コンクリートは粘性に富んでいるため圧力損失が大きい、材料分離抵抗性も大きい。普通コンクリートはスランプが大きく圧送しやすいが、管への投入の場合に材料分離を起こすと管内で粗骨材のアーチアクションが生じ、閉塞を起こす懸念がある。

図-4には圧送速度が異なる場合の圧力損失とフロー値の関係を示す。同図によると両コンクリートとも圧送速度が大きくなるほど圧力損失は増大している。圧送速度が10cm/secと小さい場合、高強度コンクリートの圧力損失は0.2~0.4kgf/cm²/mと小さく、普通コンクリートとほぼ同一程度になっているが、一部約0.7kgf/cm²/mと大きいものも認められる。普通コンクリートの圧力損失は、速度が小さくても約0.15~0.3kgf/cm²/mで、実際の現場実験における圧力損失に比べて約2倍ほどの大きな値を示している。これは、実験に用いた管の径がφ70mmと小さいことに起因すると考えられる。

4. 現場実験の概要

図-5に配管の平面図を示す。全長は50.3mで5B管（内径130.8mm）がほぼ水平な位置に配置された。ただし4箇所に90°の曲がり管が入っており、水平換算距離は

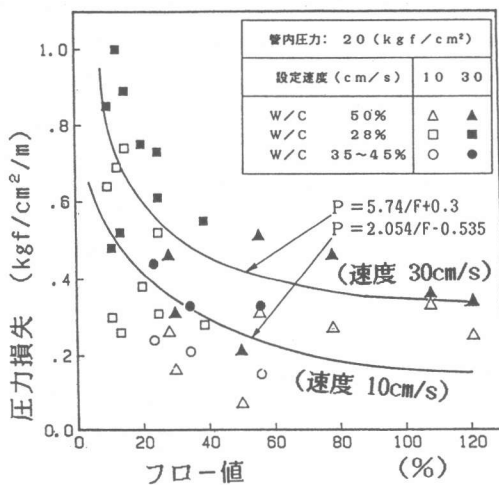


図-4 圧力損失とフロー値の関係
(圧送速度が異なる場合)

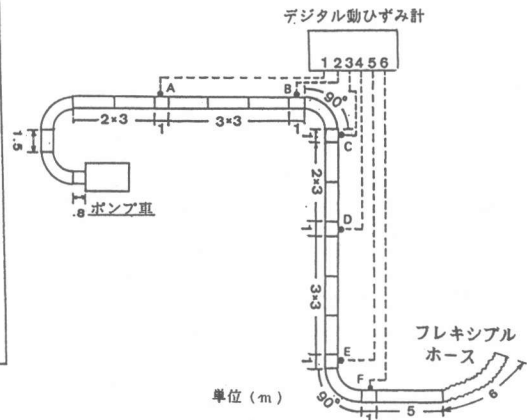


図-5 配管状況図 (平面図)

86. 3mとなる。管内圧力は6箇所に取り付けた圧力変換機で測定した。ポンプ車としては形式PTF-75BZ(油圧ピストン式、最大容量75m³/hr、シリンダーφ195×1400mm×2本)のものを使用した。コンクリートには4種類の配合のものを使用した。いまその一例を表-2に示す。一配合あたりのコンクリート量は9m³とし、設定吐出量20、30、40、および50m³/hrの各場合につき実験した。実際の吐出量(以下実吐出量とする)は、筒先で鋼缶に約200リットル満たすのに要する時間を測定して算出した。圧力変換器は管の上縁でなく横の位置になるようにした。コンクリートのコンシステンシーはスランプ、フロー、スランプフローおよび貫入量の各試験で測定した。

表-2 コンクリート示方配合の一例

コンクリートの種類	水もつ比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	空気量 air (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
				w	C	S	G	混和剤
普通コンクリート	57	45.4	4	163	289	828	1045	2.86(0.25)
高強度コンクリート	30	38	1	163	543	642	1101	10.867(2.0)

()内はセメント量に対する混和剤の比
流動化コンクリートは流動化剤 0.4%後添加

5. 現場実験の結果および考察

5.1 圧力損失とコンシステンシー

圧力損失とフロー値および羽根貫入量の関係を図-6 および図-7にそれぞれ示す。図中の回帰曲線は双曲線で示され、圧力損失とフローおよび羽根貫入量の相関係数は0.81~1.00を示し、相関性が極めて高いことがわかる。圧力損失は吐出量すなわち圧送速度が大きいほど増大している。普通コンクリートの圧力損失は0.07~0.2kgf/cm²/mであるが、高強度コンクリートのそれは0.2~0.6kgf/cm²/mと圧送速度が大きいほど増大している。特に吐出量40、50m³/hrの場合の圧力損失は0.6kgf/cm²/mを示し普通コンクリートのその3倍にも達している。普通コンクリートの場合の圧力損失は既往の研究結果⁵⁾と合致しており、高強度コンクリートのそれは筆者らが以前実施した実験結果とよく合致した⁶⁾。模型実験と現場実験の各結果を比べると、後者の圧力損失の方が前者のそれより小さい。模型実験の場合は管径が小さく、断面積に対する側面積が大きいに起因したのであろう。

5.2 実吐出量

圧力損失と実吐出量の関係を図-8に示す。高強度コンクリートの圧力損失が普通コンクリートのそれにくらべて著しく大きいことがわかり、吐出量(25m³/hr)すなわち圧送速度が0.55m/sec以上になると急増し、普通コンクリートの同一吐出量30m³/hrの場合に比べて6倍にも達している。高強度コンクリートではポンプ車の吐出圧力を最大まで上げ、設定吐出量を40、50m³/hrと

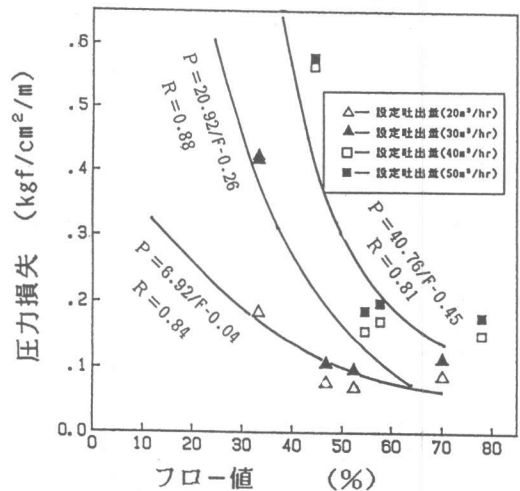


図-6 圧力損失とフロー値の関係

した場合でも、実吐出量が $35\text{m}^3/\text{hr}$ を越えることはなかった。ちなみに普通コンクリートでは設定吐出量と実吐出量はほぼ一致していた。点線で示した回帰曲線は筆者らが以前行った実験結果⁶⁾であり、今回の実験結果とよく合致している。高強度コンクリートの圧力損失は極めて大きく、コンクリートは管の吐出口でトコロテンを思わせるように滑らかに排出されていた。

5.3 直管と曲がり管の圧力損失の相違

図-9には図-5中の第4区間(D-E間)の直管と第5区間(E-F間)の曲がり管の圧力損失を示したものである。同図による普通コンクリートでは管の形状の違いによる差はほとんど見られなかったが、高強度コンクリートでは曲がり管での圧力損失が直管の場合の約50%増加している。ちなみに毛見⁵⁾報告によると曲がり管の圧力損失は直管に比べて約3倍も大きくなっており著者らの結果とかなり相違している。

6. まとめ

本研究から得られた事柄をまとめると下記のようなになる。

(1) 本模型コンクリート圧送装置による圧力損失とフロー値の関係はかなり高い相関を示した。フロー値を用いて圧力損失とコンシステンシーの関係を示した場合は、スランプでみた場合とは異なり、高強度コンクリート、普通コンクリート両場合ともほぼ同一直線上にあって同じコンクリートと見なして扱うことができるようになる。フロー値を利用すれば普通・高強度コンクリートを問わずポンピビリチーの評価が容易にできることがわかった。

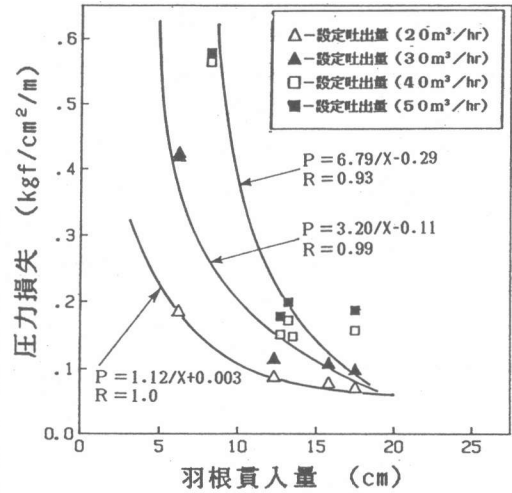


図-7 圧力損失と羽根貫入量の関係

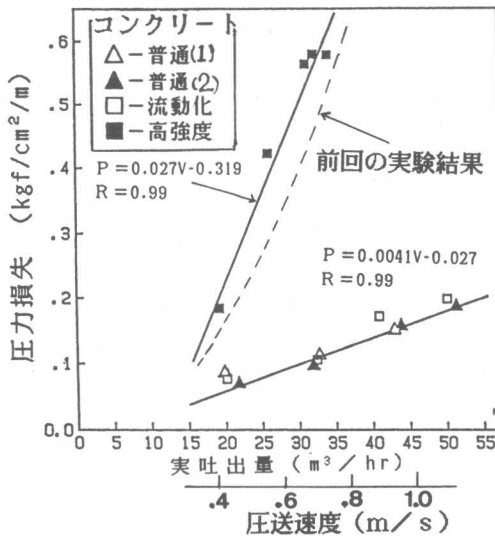


図-8 圧力損失と実吐出量の関係

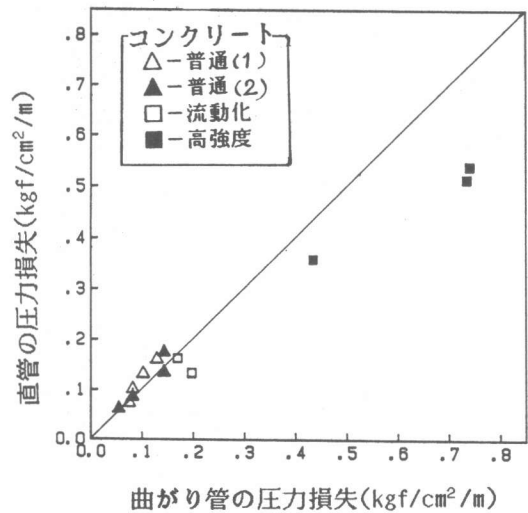


図-9 直管と曲がり管の圧力損失の比較

(2) 現場実験の結果、圧力損失とフロー値および貫入量での関係ではかなり大きな相関係数が得られた。フロー値が50%以上の場合の現場実験において圧力損失は、模型実験におけるそれと比べ30~50%小さかった。

(3) 圧力損失と実吐出量の関係は高い相関を示した。実吐出量が約 $32\text{m}^3/\text{hr}$ になると $0.6\text{kgf}/\text{cm}^2/\text{m}$ にも達し、普通コンクリートのそれの実に6倍にもなった。粘性に富んだコンクリートを圧送して打設する場合、施工速度は普通コンクリートに比べてかなり遅くなることになる。

参考文献

- 1) 高山俊一、出光隆、阪本好史；模型コンクリート圧送装置の試作とポンパビリチー試験方法に関する基礎的研究、土木構造・材料論文集、第2号、1987年1月、PP. 59~66
- 2) 高山俊一、高木実、古賀順二；高強度コンクリートのワーカビリチーにおよぼす練混ぜ方法等の影響に関する研究、セメント技術年報、第33巻、昭和54年、PP. 425~428
- 3) 高山俊一、小椋規由、下田努；高性能減水剤を用いたフレッシュコンクリートの諸性質に関する研究、九州工業大学研究報告（工学）、第42号、昭和56年、PP. 11~19
- 4) 高山俊一、渡辺明、田村富雄；模型コンクリート圧送装置の試作とコンクリートの圧力損失
セメント技術年報、第41巻、昭和62年、PP. 249~252
- 5) 毛見虎雄；コンクリートポンプ工法、彰国社、昭和52年12月
- 6) 高山俊一、出光隆、村田佳斎；高強度コンクリートのポンパビリチーに関する基礎的研究
セメント技術年報、第36巻、昭和57年、PP. 382~385