

[13] 高分子を添加した特殊水中コンクリートの輸送抵抗

正会員 ○渡 義 治 (五洋建設(株) 技術研究所)
 正会員 草 野 守 夫 (五洋建設(株) 技術研究所)
 竜 野 三 生 (五洋建設(株) 技術研究所)
 大 橋 清 一 (五洋建設(株) 技術研究所)

1. まえがき

高分子を添加した特殊コンクリートは(以下に特殊コンクリートと称す)粘着性を有し、これを水中コンクリートに応用するとトレミー工法などを用いなくても材料分離を防止でき、また海水の汚濁をも防ぐことができる。この特殊コンクリートの物性は普通コンクリートとかなり異なっており¹⁾、特にこれをコンクリートポンプで輸送するときの管内抵抗は未知である。そこで普通コンクリートと特殊コンクリートの輸送実験を行い、両者の比較をするとともに管壁との摩擦力および輸送前後のコンクリートの品質変化を測定した。なお圧送抵抗の算定は、簡便で比較的によく利用されているコンクリートが管内を固体栓として移動すると仮定して求めた実用式²⁾を用いた。その結果、普通コンクリートの粘着係数 k_1 と速度係数 k_2 は従来の傾向と少し異なった。特殊コンクリートの k_1 、 k_2 の値は普通コンクリートより大きな値を示している。輸送前後の骨材分離に伴う品質変化はほとんど見かけられなかった。

2. 実験概要

(1) 使用材料 混和剤のH剤はヒドロキシエチルセルロース系の高分子であり、HB剤はギ酸カルシウムが主成分、A B減水剤はリグニンスルホン酸系の標準型を使った。その他の使用材料を表-1に示す。

(2) 配合および混練方法 普通コンクリートと特殊コンクリートの配合表を表-2に示す。普通コンクリートは単位水量でスランプ値を調整した。特殊コンクリートのスプレッド値はH剤を水に対して0.85%~2.32%添加して調整した。HB剤はH剤の1.5倍の量を加えた。

普通コンクリートの混練は生コン工場で行なった。特殊コンクリートは生コン工場で製造したコンクリートを1m³練りボルチックミキサー(表-3参照)で混和剤を添加、再混練した。

(3) 試験方法 空気量試験、スランプ試験、まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験および圧縮強度試験はJIS規格に準じた。特殊コンクリートはスランプ試験の代りにD I N 1048(スプレッド試験と仮称する)を利用した。

コンクリートの輸送は最大吐出量30m³/hr/50Hzのコンクリートポンプ(主油圧85kg/cm²/Hz)、輸送管口径6インチ、曲り管($R_0=0.5m, 1.0m$)を使用し、最大輸送距離は65mを採った。

圧力の測定はストレーンゲージ型の圧力変換器、動ひずみ計およびデーターレコーダを組み合わせて自動記録し、レタグラフによってモニターした。流量測定はコンクリートポンプ車のホッパー部(0.3m³)の容積変化で求め

表-1 使用材料

セメント		普通ポルトランドセメント	
細骨材	産地	君津産山砂	
	粗粒率	2.52	
	表乾比重	2.59	
粗骨材	産地	鬼怒川産碎石	
	骨材最大寸法	40mm	25mm
	粗粒率	7.00	6.80
	表乾比重	2.60	2.60
混和剤		H剤, HB剤(特殊コン) A B減水剤(普通コン)	

表-2 配合

コンクリートの種類	骨材最大寸法 G_{max} (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位セメント量 C (kg/m ³)
普通	40	36.0	38.0	400
	25	41.9	43.0	
特殊	40	53.5	45.3	312
	25	51.5	38.0	400
		55.0	43.7	378

表-3 強制練りミキサーの仕様

混練量 (m ³ /バッチ)	攪拌羽根数と回転数		出力 30kw
	アーム	ローター	
1.0	6本	2本	
	22 r.p.m.	74 r.p.m.	

た。輸送実験は普通コンクリートではスラップ値を7.1cm~18.7cm、特殊コンクリートについてはスプレッド値を39.5cm~53.5cmの範囲で実施した。なおコンクリートの打設のために鉛直立ち上りを設けたのでその前後で圧力をチェックした。

3. 実験結果および考察

3.1 輸送抵抗

(1) 各測定点の圧力 各測定点の最大圧力の測定例を図-1に示す。なお図に示した管内圧力は半径方向の圧力である。管の半径方向の圧力を管軸方向圧力の α 倍としたときの値はA. N. Ede(0.25~1.0)²³と鳥田等(0.8~1.0)²³の研究がある。以下に述べる粘着係数や速度係数は普通コンクリートおよび特殊コンクリートともに $\alpha = 1.0$ として計算している。

(2) 粘着係数 k_1 、速度係数 k_2 鳥田等の研究によればコンクリートポンプによる輸送中の

コンクリートは管内を固体栓状で移動し、管壁の摩擦応力度 f およびピストン式コンクリートポンプを用いたときの単位長さ当たりの圧力損失 $(\frac{\partial P}{\partial x})_{para}$ は次式で表わされる²³⁾。

$$f = k_1 + k_2 v \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x}\right)_{para} = \frac{2}{r} \left\{ k_1 + k_2 \left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \bar{v} \right\} + r \sin \varphi \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに v : コンクリートの管内流速 \bar{v} : 平均流速
 r : 固体栓の半径 γ : コンクリートの比重量 φ : 輸送管軸と水平面との角度 $1 + \frac{t_2}{t_1} = 1.2 \sim 1.3$

したがってコンクリートの輸送速度を変えて摩擦応力度を求めると粘着係数および速度係数を算定できる。

普通コンクリートの粘着係数は、 $k_1 = (2.03 - 0.07 S) \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$ であり、提案されている $k_1 = (3.00 - 0.10 S) \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$ に比べて小さな値となった。速度係数は、 $k_2 = (13.55 - 0.59 S) \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2/\text{m/sec}$ に対して $k_2 = (4.00 - 0.10 S) \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2/\text{m/sec}$ と大きな値を示した。これは粗骨材が砂石であること、単位水量や骨材の粒度分布等の違いの影響を受けたものと思われる。(図-2参照)

特殊コンクリートの k_1 、 k_2 を図-3、図-4に示す。スプレッド40cm~45cmにおける k_1 、 k_2 は実験値からの逆算であり、平均的には $k_1 = (64.13 - 1.37 S_p) \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$ 、 $k_2 = (-35.28 + 1.15 S_p) \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2/\text{m/sec}$ であった。スプレッド45.8cm以上の k_1 、 k_2 は図-3に点線で示した k_1 の値を使って k_2 の値を求めたものである。スプレッド45.8cmの k_2 は良い一致を示したが、46.3cm以上では実験式と異なってくる。特にスプレッド53.5cmでは大きな差を示す。スプレッド48.1cmまでは k_1 の値を0に漸近させれば、 k_2 の値は実験式に接近する。図-3の○印は逆に k_2 の値から k_1 を逆算したも

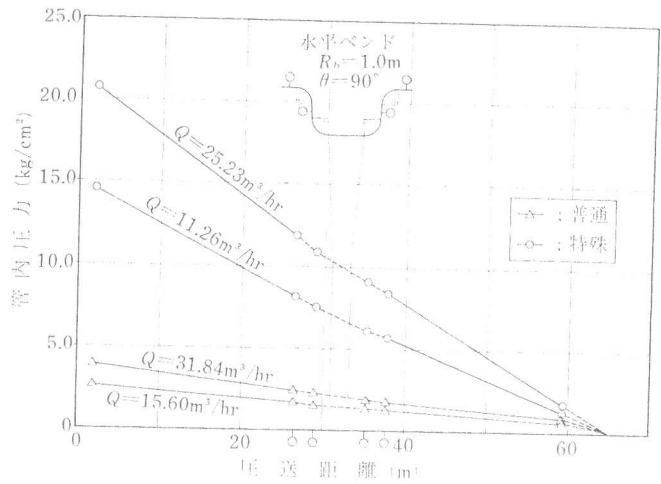


図-1 圧送距離と管内圧力の関係

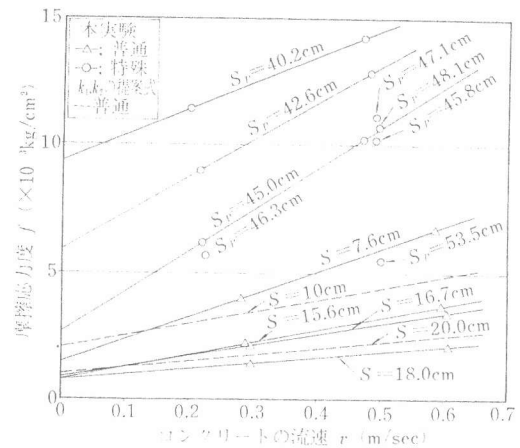


図-2 コンクリートの流速と管内摩擦応力度の関係

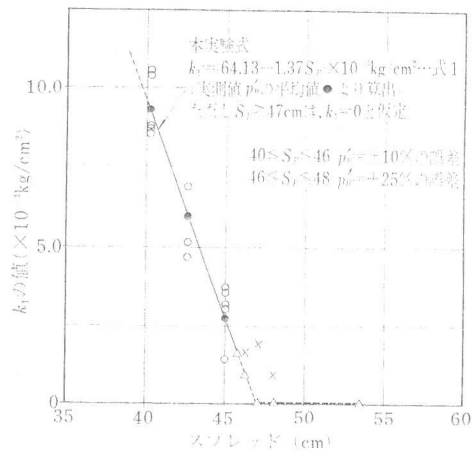


図-3 スプレッドと k_1 の値の関係

のでスプレッド53.5cmでは k_1 は負(-7.5×10^{-3})となる。スプレッド48.1~53.5cmの間でコンクリートが固体粒としての流から離れるのではないだろうか。実験式の k_1, k_2 を使った摩擦応力度の理論値と実測値を比較するとスプレッド40~45.8cmまでは+10%、46.3~48.1cmまでは0~25%の誤差であった。実用的にはスプレッド47cmまで実験式が適用できると判断している。

(3) 曲り管 曲り管1本当りの圧力損失 $(P_1 - P_2)_{para}$ は次式で表わされる。

$$(P_1 - P_2)_{para} = \left[\frac{2}{r} R_b \left\{ k_1 + k_2 \left(1 + \frac{r_0}{k_1} \right) \bar{v} \right\} + R_b \theta r \sin \varphi \right] \times \frac{2(1 - \cos \theta)}{\sin \theta} \dots \dots \dots (3)$$

ここに R_b ; 曲り管の曲率半径 θ ; 曲り部の角度

曲り管1本当りの圧力損失の理論値を実測値と比較すると図-5となる。普通コンクリートおよび特殊コンクリートの理論値と実測値の比は、両者ともに流速に関係なく0.3~1.0の間にある。ただし普通コンクリートは理論値と実測値との間に大きな差を生じたケースがあり、曲り管の存在が輸送抵抗に大きな影響を与えることを示している。

3.2 輸送前後のコンクリートの品質

(1) スランブとスプレッド 普通コンクリートの輸送前後におけるスランブの比較を図-6に示す。輸送後のスランブが一般に小さくなる傾向を示している。

特殊コンクリートの輸送前後のスプレッドの比較を図-7に示す。普通コンクリートとは逆に輸送後のスプレッドが大きくなる傾向を示している。

(2) 空気量 輸送前後の空気量の比較を図-8に示す。普通コンクリートと特殊コンクリートともに+1.0%の範囲内におさまっている。

(3) 洗い分析試験結果 輸送前後の洗い分析試験結果を図-9に示す。

(4) 供試体の圧縮強度 輸送前後の圧縮強度試験結果を図-10に示す。特殊コンクリートの

圧縮強度は、1ケースを除けば輸送後の方が大きな値を示している。輸送後の圧縮強度が低下した例では空気量が1%増、単位体積重量1.2%減、スプレッドが2.5cm増になっている。

(5) 考察 同一材料のコンクリートを輸送しているときの管内圧力が顕著な変動を示さなかった割に、コンクリートの物性値の変化が大きい。特殊コンクリートの圧送後のスプレッドが10cmも大きいのは異常である。特

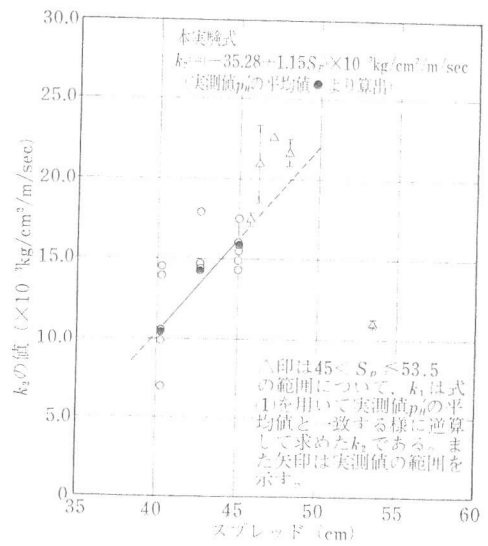


図-4 スプレッドと k_2 の値の関係

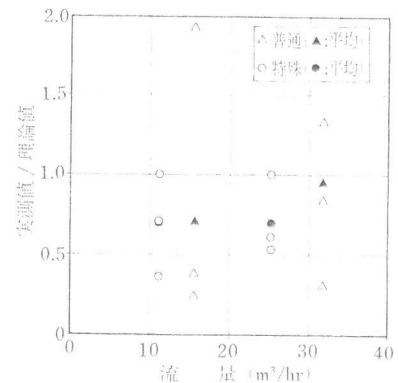


図-5 水平曲がり管 ($R_b = 1.0m, 90^\circ$) の実測値/理論値の関係

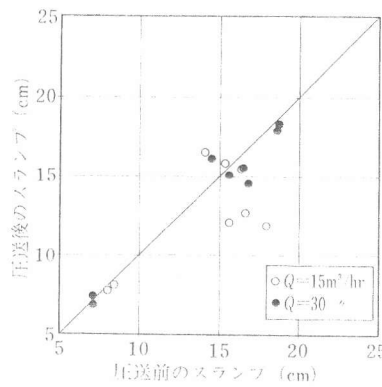


図-6 普通コンの圧送前、後のスランブの関係

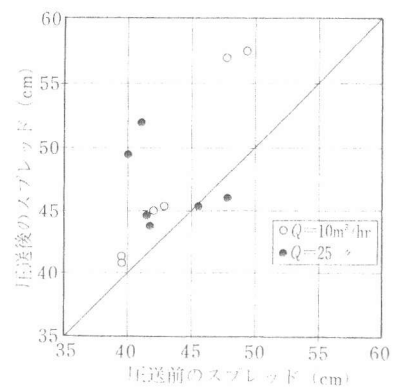


図-7 特殊コンの圧送前、後のスプレッド関係

殊コンクリートのスプレッド値は単位水量とH剤の添加量が支配的であり、単位水量が変化したとしか考えられない。輸送前の粗骨材の単位量を調べるとボ方配合における $933\text{kg}/\text{m}^3$ に対して $940\sim 1016\text{kg}/\text{m}^3$ と変動している。そこで荷卸し時の生コンクリートの配合分析結果は図-11となり、図-9の傾向に近似する。した

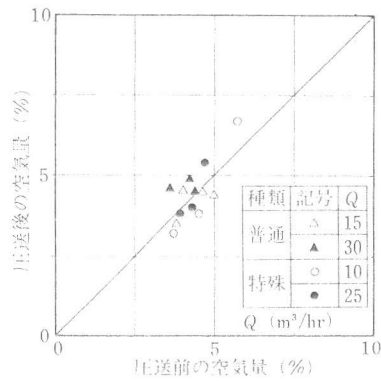


図-8 圧送前、後の空気量の関係

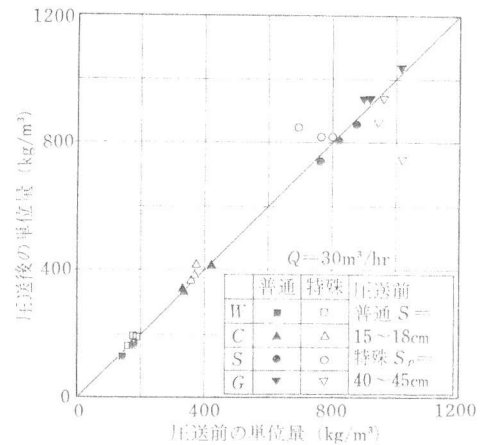


図-9 圧送前、後の単位量の関係

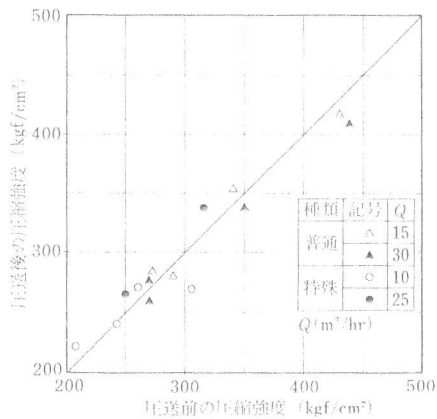


図-10 圧送前、後の圧縮強度 (材令28日) の関係

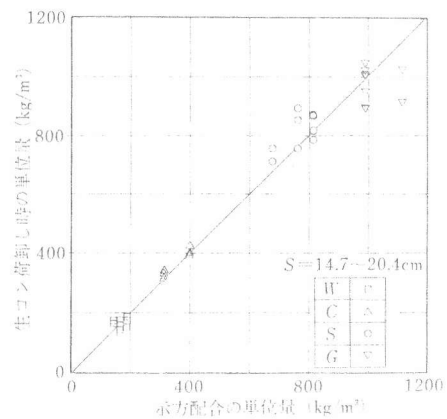


図-11 生コン荷卸し時の配合分析結果

がって輸送前後の物性の変化は生コンクリート中の粗骨材の不均一に基づくものと考えらる。

4. 結 論

普通コンクリートおよび高分子を添加したコンクリートともに鳥田等の提案した実用式が適用できそうである。普通コンクリートの粘着係数は従来の推定式より小さく、 $k_1 = (2.03 - 0.07S) \times 10^{-3} \text{kg}/\text{cm}^2$ であり、速度係数は逆に大きく、 $k_2 = (13.55 - 0.55S) \times 10^{-3} \text{kg}/\text{cm}^2/\text{m}/\text{sec}$ を示した。

特殊コンクリートはスプレッド47cm以下で、 $k_1 = (64.13 - 1.37S_p) \times 10^{-3} \text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $k_2 = (-35.28 + 1.15S_p) \times 10^{-3} \text{kg}/\text{cm}^2/\text{m}/\text{sec}$ が実用的な圧送圧の算定として利用できる。スプレッド47cm以上でも $k_1 = 0$ とすれば計算できるが、圧送圧を過大評価することになる。

コンクリートの輸送にともなう物性の変化は、輸送前の物性の差より小さかったと推察される。

- 参考文献
- 1) 高分子を添加した特殊コンクリートの性状、五洋建設技術研究所年報、Vol.12、1983。
 - 2) コンクリートポンプの管内圧送圧に関する研究 その1、日本建築学会論文報告集、第177号昭和45年、その2 同 第178号、昭和45年。
 - 3) "The resistance of concrete pumped through pipelines", Magazine of Concrete Research, Nov. 1957.