

石粉またはフライアッシュの添加による貧配合コンクリートの ポンプ圧送性の改善

IMPROVEMENT OF PUMPABILITY OF POOR MIXED CONCRETE BY ADDING STONE DUST OR FLY ASH

島山 昭*・堤 知明*・坂本全布**

By Akira HATAKEYAMA, Tomoaki TSUTSUMI and Masanobu SAKAMOTO

From field pumping tests, it was made clear that pumpability of poor mixed concrete might be improved by adding stone dust or fly ash. It was also made clear that pumpability was closely related to the amount of mortar containing sand whose grain size was 0.3 mm or less, and that the pressurized bleeding test was effective for exactly estimating the pumpability of even poor mixed concrete for pipelines having a diameter of 125 mm. Mixing large amount of fine stone dust did not have any bad influence on the strength and the durability of concrete.

In this paper, the authors propose a procedure to design the mix proportion of concrete having the property of good pumpability, and show necessary mortar content with fine sand of 0.3 mm or less

Keywords: pumpability, poor mixed concrete, stone dust, fly ash, pressurized bleeding test

1. はじめに

コンクリートのポンプ圧送は、その施工能率の良さから広く普及しており、配合設計されたフレッシュコンクリートが圧送できるか否かをあらかじめ判定したり、ポンプ圧送可能な最適な配合設計手法の確立の必要性が高まっている。

コンクリートのポンプ圧送性の評価手法としては、加圧ブリージング試験があり、加圧ブリージング曲線が標準曲線 B、C 内にある場合、圧送性が良好であるとしている¹⁾。

しかし、この加圧ブリージング曲線を標準曲線 B、C 内に納める手法については一般的になっていないため、過去の圧送実績などを参考として配合を選定しているのが実状で、管内閉塞を避けるあまり単位水量、単位セメント量ならびに細骨材率を大きくする傾向があり、コンクリートの配合がポンプ圧送性により決められる場合もある。

本研究は、フレッシュコンクリート中の粒径 0.3 mm

以下の微粉末を含むモルタル量（セメントの重量/セメントの比重+0.3 mm 以下の細骨材の重量/細骨材の比重+0.3 mm 以下の石粉またはフライアッシュの重量/石粉またはフライアッシュの比重+単位水量）—以下、0.3 mm 以下のモルタル量と記す—に着目し^{2),3)}、単位セメント量 150~250 kg/m³、スランプ 8 cm 程度の貧配合コンクリートに対し、石粉またはフライアッシュを添加することにより、ポンプ圧送性の改善効果を屋外圧送実験および室内試験によって確認するとともに、これらの実験結果に基づきポンプ圧送が良好な配合の選定手順を提案し、さらに確保する必要のある 0.3 mm 以下のモルタル量の目安を定量的に示したものである。

2. 実験概要

実験は、コンクリートの圧送性を確認するための屋外圧送実験とその配合を選定するためならびに物性値等を把握するための室内試験から成り、3回に分けて行ったが、使用材料、配管、コンクリートポンプ車および圧送方法については各回とも同一の条件で実施した。

(1) 使用材料

セメントは、JIS R 5210 に規定している普通ポルトランドセメントを用いた。セメントの粒度曲線を図—1 に示す。

* 正会員 東京電力(株)技術研究所構造研究室
(〒181 調布市西つつじヶ丘 2-4-1)

** 正会員 大成建設(株)技術研究所土木材料研究室
(〒245 横浜市戸塚区名瀬町 344-1)

表一 細骨材の物理的性質

| 種類 | 産地 | 表乾比重 | 吸水率(%) | 粗粒率 | |
|-----|-----|---------|--------|------|------|
| 細骨材 | 砕砂 | 神奈川厚木産 | 2.62 | 1.07 | 2.87 |
| | 天然砂 | 千葉県木更津産 | 2.60 | 1.00 | 2.60 |

表二 粗骨材の物理的性質

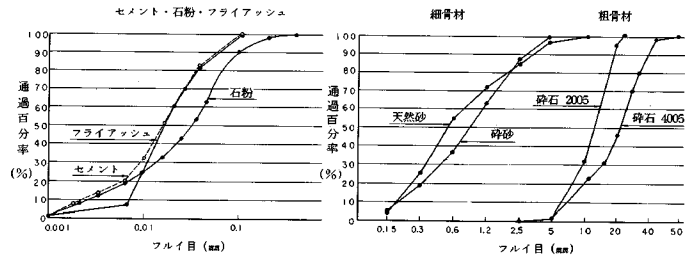
| 産地 | 骨材の大きさ(mm) | 表乾比重 | 吸水率(%) | 粗粒率 | |
|-----|------------|--------|--------|------|------|
| 粗骨材 | 神奈川厚木産砕石 | 40~5.0 | 2.63 | 1.10 | 7.28 |
| | " | 20~2.5 | 2.68 | 2.37 | 6.71 |

表三 石粉の物理的性質および化学成分

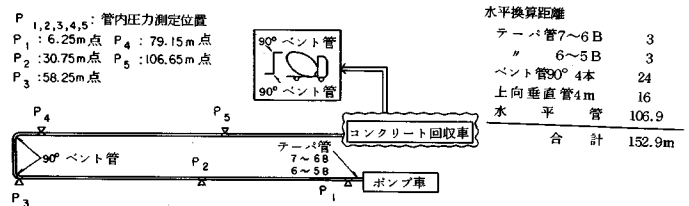
| 産地 | 比表面積 (cm ² /g) | 比重 | 化学成分(%) | | |
|---------|---------------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ |
| 栃木県上野原部 | 2230 | 2.72 | 78.6 | 10.7 | 1.8 |
| | | | CaO | 湿分 | 0.2 |

表四 フライアッシュの物理的性質および化学成分

| 比表面積 (cm ² /g) | 比重 | 化学成分(%) | | | |
|---------------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|
| | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO |
| 3450 | 2.09 | 55.9 | 26.6 | 4.0 | 5.7 |
| | | MgO | SO ₃ | 湿分 | 強熱減量 |
| | | 1.4 | 1.3 | 0.1 | 2.1 |



図一 セメント、石粉、フライアッシュ、細骨材および粗骨材の粒度曲線



図二 配管、管内圧力測定位置図

表五 屋外圧送実験配合

| 配合 | 粗骨材の最大寸法 Gmax (mm) | 細骨材の種類 | スランの範囲 sl (cm) | 空気量 a (%) | 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | 0.3mm以下のモルタル量 (ℓ/m ²) | 配管径 | 圧送実験結果 | |
|----|--------------------|--------|----------------|-----------|----------------|--------------|--------------------------|--------|-------|-------|-----------|--------|-----------------------------------|-----|--------|-------|
| | | | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 石粉フライアッシュ | 混和剤 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | AE剤 | | | | AE減水剤 |
| A | 20 | 砕砂 | 8±1.5 | 4±1 | 68.4 | 48 | 171 | 250 | 879 | 974 | 30 | — | 0.625 | 325 | 125A | ○ |
| B | " | " | " | " | 79.1 | 45 | 174 | 220 | 801 | 1002 | 100 | — | 0.55 | 338 | " | ○ |
| C | " | " | " | " | 88.0 | 44 | 176 | 200 | 780 | 1015 | 120 | — | 0.50 | 340 | " | ○ |
| D | " | " | " | " | 120.0 | 42 | 180 | 150 | 737 | 1041 | 170 | — | 0.375 | 343 | " | ○ |
| E | " | " | " | " | 117.3 | 42 | 176 | 150 | 742 | 1048 | 170 | — | 0.375 | 343 | " | ○ |
| F | " | " | " | " | 59.6 | 48 | 167 | 280 | 886 | 982 | — | — | 0.700 | 320 | " | △ |
| G | " | " | " | " | 117.3 | 42 | 176 | 150 | 742 | 1048 | 170 | — | 0.375 | 340 | " | ○ |
| H | " | " | 5±1.5 | " | 65.4 | 50 | 170 | 260 | 918 | 958 | — | — | 0.650 | 319 | " | × |
| I | " | " | " | " | 68.8 | 51 | 172 | 250 | 947 | 931 | — | — | 0.625 | 320 | " | × |
| J | " | " | " | " | 78.2 | 47 | 172 | 220 | 853 | 984 | 70 | — | 0.550 | 329 | " | × |
| K | " | " | 8±1.5 | " | 60.7 | 42 | 170 | 150 | 752 | 1066 | 130* | 0.100 | 0.700 | 331 | " | ○ |
| L | " | " | " | " | 63.7 | 46 | 172 | 189 | 833 | 1004 | 81* | 0.075 | 0.675 | 329 | " | ○ |
| M | 40 | 天然砂 | " | " | 111.3 | 37 | 167 | 150 | 688 | 1166 | 140 | 0.0625 | 0.375 | 335 | " | ○ |
| N | " | " | " | " | 62.4 | 40 | 159 | 255 | 753 | 1153 | — | — | 0.638 | 315 | " | ○ |
| O | 20 | 砕砂 | " | " | 117.3 | 42 | 176 | 150 | 742 | 1048 | 170 | 0.075 | 0.375 | 340 | 150A | ○ |
| P | " | " | " | " | 62.2 | 49 | 171 | 275 | 901 | 963 | — | — | 0.688 | 323 | " | ○ |
| Q | " | " | " | " | 63.0 | 49 | 170 | 270 | 895 | 976 | — | — | 0.675 | 320 | " | × |

* フライアッシュを使用 ○: 安定圧送 △: 不安定圧送 ×: 圧送不可

細骨材は、厚木産の100%砕砂および木更津産の天然砂を用い、その物理的性質を表-1に、粒度曲線を図-1に示す。

粗骨材は、粗骨材の最大寸法 (G_{max}) 20 mm および 40 mm の砕石で、砕砂と同様厚木産であり、その物理的性質を表-2に、粒度曲線を図-1に示す。

微粉末混和材として石粉(SD)を主に、フライアッシュ(F)も用いた。石粉は、珪岩を破碎し、分級したもので現在シールド工事の裏込め材料として用いられ、市販されているものである。石粉の物理的性質および化学成分を表-3に示す。なお、石粉の最大寸法は0.84 mm である。

フライアッシュは、JIS A 6201 を満足しており、石粉と同様に市販されているものを用いた。フライアッシュの物理的性質および化学成分を表-4に示す。石粉、フライアッシュの粒度曲線を図-1に示す。

混和剤は、AE 剤および AE 減水剤を用いた。

(2) 圧送実験配合

屋外圧送実験に用いた配合を表-5に示す。

これらの配合は、以下に示す点に着目して設定した。

- ① 石粉の添加による圧送可能な0.3 mm以下のモルタル量と単位セメント量の関係の把握(配合A~G、ただしEとGは同一配合であるが、レデーミクストコンクリート工場が異なっている)。
- ② フライアッシュを用いた場合の影響把握(配合K, L)。
- ③ 粗骨材の最大寸法、細骨材の種類の違いによる影響把握(配合M, N)。
- ④ スランプの差(8 cm と 5 cm)による影響把握(配合H, I, J)。
- ⑤ 配管径の違い(125 A と 150 A)に対する影響の把握(配合O, P, Q)。

(3) 圧送実験方法

コンクリートは、(1)の材料を用いてレデーミクストコンクリート工場に製造し、トラックアジテータにより実験場所まで運搬した。コンクリート製造から圧送開始までの時間は、配合A~Eが約45分、配合F~Qが約15分であった。

試験に用いたコンクリートポンプ車は、ピストン式で最大吐出量100 m³/h、理論吐出圧力47 kgf/cm²(4.6 MPa)であり一連の実験を通じて同一の車両とし、ポンプの運転も同一のオペレーターが行った。

配管は、数回使用したストレートシーム管(肉厚1.8 mm)で管径125 A および 150 A を用いた。配管形状を図-2に示す。配管には、曲率半径が1 m で 90° のベントが4か所あり、水平換算距離は約150 m である。管内圧力測定器を5か所に取り付けた。圧送実験は、吐出

量を20, 30, 40, 50 m³/hと変化させ、各吐出量ごとに20ストローク圧送し、そのときの管内圧力損失を測定するとともに、圧送前後のスランプ、空気量、単位容積重量、温度、ブリージング率の測定、ならびに圧送前の加圧ブリージング試験を行った。

(4) 室内試験

室内試験は、屋外圧送実験に用いる配合の選定のための予備配合試験、圧送前後のコンクリートの圧縮強度および弾性係数の把握、圧送実験で得られた結果を補完するための各種配合の加圧ブリージング試験ならびに石粉を添加したコンクリートの耐久性を調べるための凍結融解試験を実施した。

3. 実験結果

屋外圧送実験を行った配合のうち、配合Fは、不安定圧送(逆転運転を数回実施)、配合H, I, J, Qは、圧送不能であったが、それ以外は良好に圧送できた。

(1) 加圧ブリージング曲線

a) 配管径の影響

圧送実験を行った配合の加圧ブリージング試験結果を図-3(1), (2), 図-4に示す。

配管径125 A で良好に圧送できた配合は、Lを除き加圧ブリージング曲線が標準曲線BとCの間にあり、配合Lも経過時間が1分付近で標準曲線Bのわずかに外側となっていた。これに対し、不安定圧送の配合Fは、経過時間が1分付近で配合Lの外側に位置し、圧送不能であった配合H, I, Jはさらにその外側に位置していた。

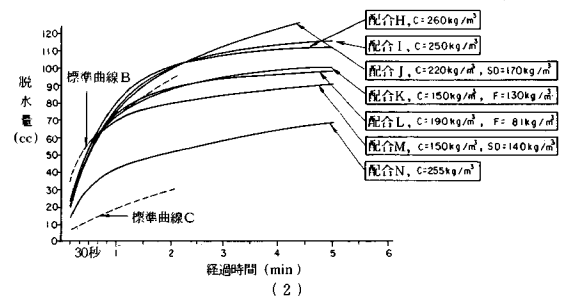
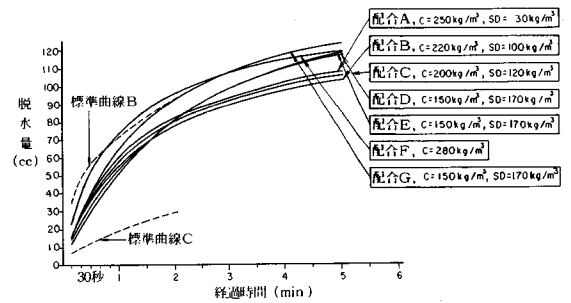
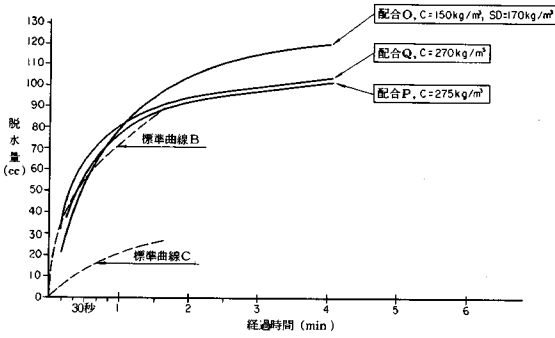


図-3 圧送実験の加圧ブリージング試験結果(125 A 管)



図—4 圧送実験の加圧ブリージング試験結果 (150 A 管)

配管径 150 A では、良好に圧送できた配合 O, P であっても経過時間 1 分付近で標準曲線 B のかなり外側に位置していた。

したがって、本研究では圧送良否の判定規準は標準曲線全体の形状というよりも、経過時間 1 分前後までの初期脱水量が支配的な要因となっており、配管径 125 A の場合、標準曲線 B で示された脱水量は若干安全側に設定されているものの、貧配合コンクリートであっても実用上十分な精度を有していると判断された。一方、配管径が 150 A の場合は、標準曲線 B で示された脱水量は、かなり安全側となっていた。

b) ミキサの形式および練りませ時間の影響

表一五の配合は、スランプ 5 cm のケースを除きあらかじめ室内試験により加圧ブリージング曲線が標準曲線内にあることを確認し、選定したが、屋外圧送実験の際、加圧ブリージング曲線が大きく異なるものが見受けられた。

この要因を検討するため、ミキサ形式、練りませ時間を変えた場合について、加圧ブリージング曲線の変化状況を調べた。試験に用いたミキサ形式を表一六に、その加圧ブリージング曲線を図—五(1)、(2)に示す。

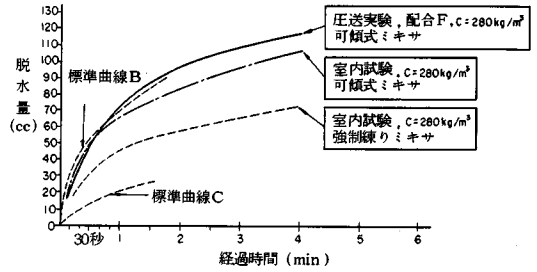
また、同一形式のミキサによる練りませ時間を変化(表一七参照)させた場合の加圧ブリージング曲線を図—六に示す。

これらの結果より加圧ブリージング曲線は、練りませミキサの形式に大きく影響を受ける場合があること、同一ミキサでも練りませ時間を増大させると脱水量が少なくなることが明らかとなった。

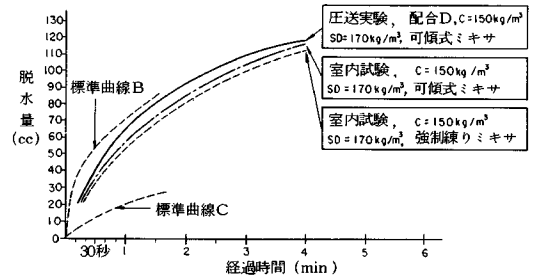
したがって、加圧ブリージング試験により、ポンプ圧送の良好な配合を選定する場合には、コンクリートの供給を受けるプラントと同形式のミキサを用いるとともに供給プラントの練りませ特性を反映できるようあらかじめ配合の加圧ブリージング曲線を手直し、これと等しくなるように室内試験の練りませ時間を調整しておくことが必要となる。

表—6 圧送実験と室内試験のミキサの比較

| 形 式 | 圧 送 実 験 | 室 内 試 験 | |
|-----------|--------------------|-----------|-------|
| | 可 傾 式 | 強 制 練 り 式 | 可 傾 式 |
| 容 量 | 2 0 0 0 ℓ | 5 0 ℓ | 5 0 ℓ |
| 練 り ませ 量 | 2000 ℓ / バッチ × 2 + | 4 0 ℓ | 3 0 ℓ |
| 練 り ませ 時間 | 1 分 | 1 分 | 1 分 |



(1) C=280 kg/m³

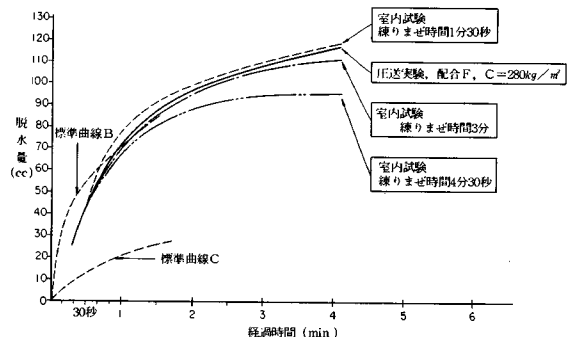


(2) C=150 kg/m³

図—5 ミキサ形式の違いによる加圧ブリージング試験結果

表—7 ミキサの練りませ時間の条件

| 形 式 | 圧 送 実 験 | 室 内 試 験 |
|-----------|--------------------|-------------------------------|
| | 可 傾 式 | 可 傾 式 |
| 容 量 | 2 0 0 0 ℓ | 1 0 0 ℓ |
| 練 り ませ 量 | 2000 ℓ / バッチ × 2 + | 4 0 ℓ |
| 練 り ませ 時間 | 1 分 | 1 分 3 0 秒 3 分 4 分 3 0 秒 |



図—6 練りませ時間と加圧ブリージング試験結果 (C=280 kg/m³)

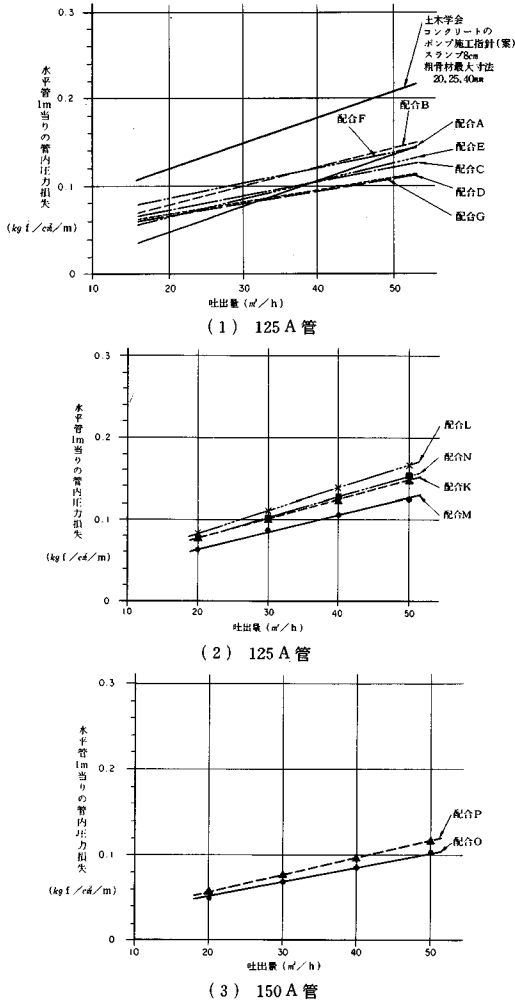


図7 水平管1m当たりの管内圧力損失と吐出量の関係

表8 圧送限界推定距離

| 配合 | 管内圧力損失変化 吐出量変化 | 吐出量40m ³ /h | | 配管径 |
|----|-------------------|---|---------------------|------|
| | | 水平管1m当りの 管内圧力損失 (kg f/cm ² /m) | 圧送限界 推定距離 (m) | |
| A | 0.0031 | 0.110 | 427 | 125A |
| B | 0.0026 | 0.120 | 391 | " |
| C | 0.0016 | 0.108 | 435 | " |
| D | 0.0016 | 0.092 | 510 | " |
| E | 0.0016 | 0.108 | 435 | " |
| F | 0.0020 | 0.121 | 388 | " |
| G | 0.0012 | 0.092 | 505 | " |
| K | 0.0020 | 0.105 | 447 | " |
| L | 0.0036 | 0.124 | 379 | " |
| M | 0.0022 | 0.114 | 412 | " |
| N | 0.0022 | 0.139 | 338 | " |
| O | 0.0015 | 0.084 | 559 | 150A |
| P | 0.0019 | 0.096 | 489 | " |

圧送限界推定距離 = $\frac{\text{コンクリートポンプ車の理論吐出圧力}^*}{\text{水平管1m当りの管内圧力損失}}$

* 今回の実験で用いたポンプ車の理論吐出圧力は47kg f/cm²である。

(2) 管内圧力損失および圧送距離

水平管1m当たりの管内圧力損失と吐出量の関係を

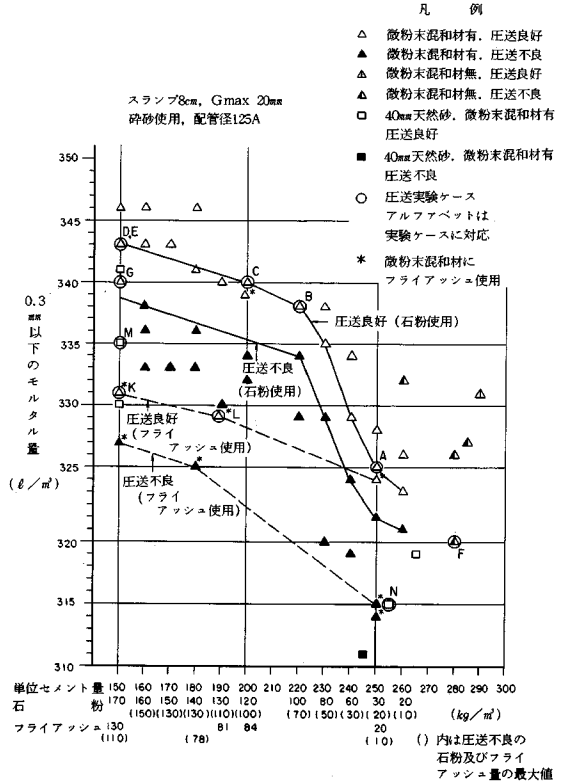


図8 0.3mm以下のモルタル量と単位セメント量の関係

図7(1)~(3)に示す。図7(1)は配管径125A, G_{max} 20mm, 砕石, 砕砂, 石粉を用いたケース, 図7(2)は, 微粉末混和材としてフライアッシュを用いたケース(配合K, L)と G_{max} 40mm, 天然砂を用いたケース(配合M, N), 図7(3)は配管径が150Aのケースである。

吐出量の変化に対する管内圧力損失の変化勾配, 吐出量 40m³/h の場合の圧送限界推定距離を表8に示す。

表8より, 配管径が125Aから150Aと大きくなった場合, 同一配合(C=150kg/m³, SD=170kg/m³) GとOの結果から吐出量変化に対する管内圧力損失の変化勾配は, ほぼ同程度の値となっているが, 水平管1m当たりの管内圧力損失は, 吐出量が40m³/hの場合, 0.008kgf/cm²/m (784.8Pa/m) 低減し, 圧送限界推定距離が約50m増加する。

(3) 0.3mm以下のモルタル量

スランブ8cm, G_{max} 20mm, 砕砂使用, 配管径125Aの場合に対する0.3mm以下のモルタル量と単位セメント量との関係を図8に示す。図には, 圧送実験に用いた配合のほかに室内試験のみの結果も合わせて示した。室内試験の圧送良否の判定については, 加圧プリージング曲線が標準曲線B, C内にあるか否かによった。

なお、各配合はスランプ、 G_{max} 、空気量、細骨材の種類および粒度、混和材の種類が同一であるので、単位セメント量+石粉またはフライアッシュ量を設定した場合、単位水量が最小となる s/a が設定されている。

これによれば、

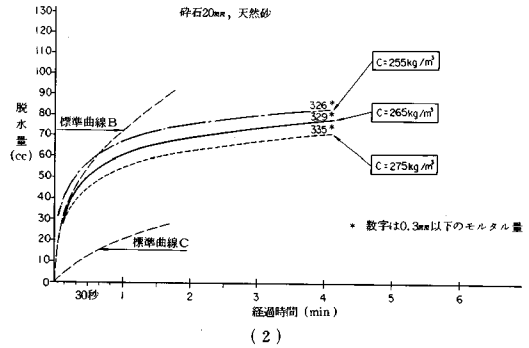
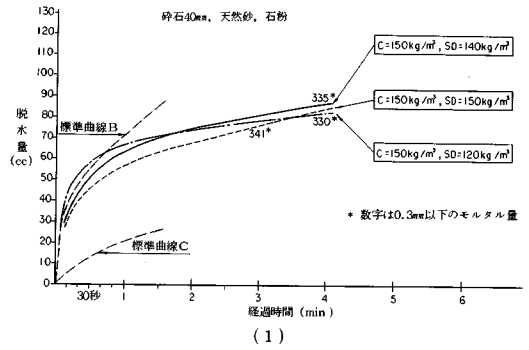
① 微粉末混和材として石粉を添加した場合、圧送良好となるのに必要とされる 0.3 mm 以下のモルタル量は、単位セメント量 C (あるいは石粉添加量) と明瞭な関係が認められ、おおむね $C=150 \text{ kg/m}^3$ のとき 340 l/m^3 以上、 $C=220 \text{ kg/m}^3$ のとき 338 l/m^3 以上、 $C=260 \text{ kg/m}^3$ のとき 323 l/m^3 以上である。

② 微粉末混和材としてフライアッシュを用いた場合は、石粉を用いた場合と比較して圧送性の改善が認められ、その差は単位セメント量が小さいほど大きくなっている。0.3 mm 以下のモルタル量は、 $C=150 \text{ kg/m}^3$ のとき 331 l/m^3 であるが、 $C=250 \text{ kg/m}^3$ では、 324 l/m^3 で石粉 (325 l/m^3) とほとんど同じであった。

③ 微粉末混和材を全く添加しない場合には、 $C=290 \text{ kg/m}^3$ 以下では良好なポンプ圧送が期待できず、圧送良好となるのに必要とされる 0.3 mm 以下のモルタル量は 331 l/m^3 であった。

④ スランプ 8 cm, G_{max} 40 mm, 天然砂を用いた場合は G_{max} 20 mm, 砕砂を用いた場合と比較すると、必要とされる 0.3 mm 以下のモルタル量は 8 l/m^3 程度少なくてよかった (表—5, 配合 D と M 参照)。

また、0.3 mm 以下のモルタル量と加圧ブリージング曲線の関係について、その一例を図—9(1), (2) に示す。加圧ブリージング試験の総脱水量は、必ずしも 0.3 mm 以下のモルタル量と対応していないが経過時間 1 分以内の加圧ブリージング曲線は、0.3 mm 以下のモルタル量が大きくなるほど脱水量が小さくなり、標準曲線 B



図—9 室内試験の加圧ブリージング曲線と 0.3 mm 以下のモルタル量の関係

の内側に入ってくる。

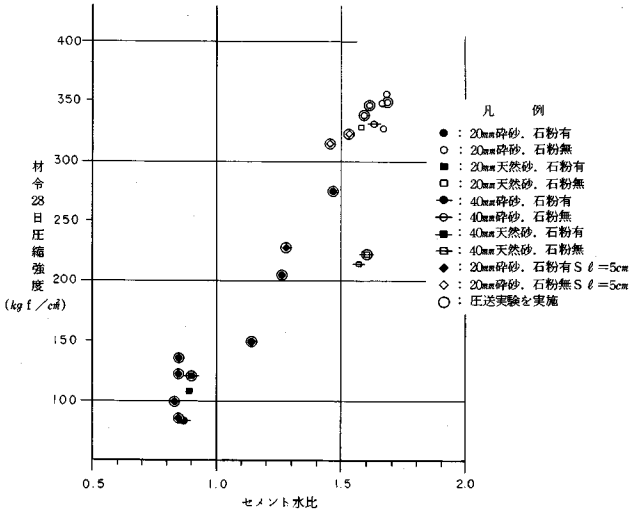
(4) 品質試験結果

ポンプ圧送前後の品質試験結果を表—9 に示す。スランプ、空気量、ブリージング率は、圧送後若干低下していることが認められるが、実用上問題となるほどではない。

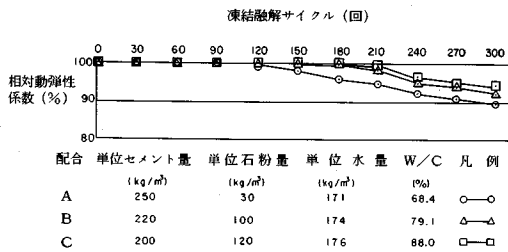
圧縮強度は、どの配合も圧送後の強度が若干高くなる傾向が認められる。図—10 は微粉末混和材として石粉を添加した場合としない場合のセメント水比と圧送前の

表—9 圧送実験品質試験結果

| 配合 | 圧 送 前 | | | | | | 圧 送 後 | | | | | | | |
|----|--------------|------------|------------------------|-------------|--------------------|--------------------------|---|--------------|------------|------------------------|-------------|--------------------|--------------------------|---|
| | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 単位容積 重 量 (kg/m³) | 温 度 (°C) | ブリージング 率 (%) | 圧 縮 強 度 (kg f/cm²) | 弾 性 係 数 ($\times 10^5 \text{ kg f/cm}^2$) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 単位容積 重 量 (kg/m³) | 温 度 (°C) | ブリージング 率 (%) | 圧 縮 強 度 (kg f/cm²) | 弾 性 係 数 ($\times 10^5 \text{ kg f/cm}^2$) |
| A | 9.0 | 4.5 | 2,292 | 17.5 | 6.4 | 275 | 2.44 | 7.2 | 4.2 | 2,299 | 19.0 | 4.8 | 284 | 2.45 |
| B | 7.7 | 4.3 | 2,290 | 16.5 | 5.6 | 204 | 2.22 | 7.2 | 4.1 | 2,295 | 17.0 | 4.9 | 208 | 2.26 |
| C | 9.5 | 4.6 | 2,276 | 16.0 | 6.1 | 149 | 2.04 | 7.8 | 4.0 | 2,291 | 18.0 | 4.9 | 153 | 2.09 |
| D | 9.7 | 4.2 | 2,274 | 15.0 | 5.5 | 99.7 | 1.89 | 8.3 | 3.7 | 2,286 | 15.0 | 4.9 | 102 | 1.90 |
| E | 7.8 | 3.3 | 2,302 | 16.0 | 5.6 | 122 | 1.95 | 7.7 | 3.0 | 2,310 | 16.0 | 4.9 | 125 | 2.00 |
| F | 7.0 | 3.7 | 2,320 | 9.5 | 7.1 | 349 | 3.17 | 7.0 | 3.6 | 2,326 | 11.5 | 6.1 | 353 | 3.20 |
| G | 8.5 | 4.1 | 2,289 | 9.5 | 6.8 | 85.4 | 2.01 | 8.5 | 3.9 | 2,279 | 10.5 | 6.6 | 98.8 | 2.16 |
| H | 6.1 | 3.9 | 2,309 | 9.0 | 9.7 | 323 | 3.15 | — | — | — | — | — | — | — |
| I | 4.2 | 3.4 | 2,314 | 9.0 | 10.6 | 315 | 3.04 | — | — | — | — | — | — | — |
| J | 5.6 | 3.2 | 2,318 | 10.0 | 8.0 | 228 | 2.77 | — | — | — | — | — | — | — |
| K | 9.2 | 3.4 | 2,283 | 12.5 | 6.7 | 168 | 2.70 | 9.0 | 3.3 | 2,286 | 13.0 | 6.5 | 186 | 2.85 |
| L | 8.5 | 3.6 | 2,289 | 14.0 | 3.9 | 267 | 2.99 | 8.2 | 3.5 | 2,292 | 14.0 | 5.9 | 271 | 3.06 |
| M | 9.5 | 4.0 | 2,311 | 12.0 | 4.7 | 120 | 2.37 | 9.4 | 4.0 | 2,310 | 13.0 | 4.7 | 124 | 2.25 |
| N | 9.5 | 4.1 | 2,319 | 13.0 | 5.1 | 222 | 3.04 | 9.5 | 4.1 | 2,321 | 14.5 | 4.7 | 229 | 3.05 |
| O | 7.3 | 3.4 | 2,300 | 14.0 | 6.3 | 135 | 2.31 | 7.2 | 3.2 | 2,305 | 14.0 | 6.3 | 139 | 2.27 |
| P | 9.5 | 4.0 | 2,310 | 14.5 | 7.1 | 346 | 3.24 | 9.4 | 3.9 | 2,313 | 15.0 | 6.7 | 356 | 3.25 |
| Q | 7.5 | 4.2 | 2,306 | 14.0 | 7.4 | 338 | 3.28 | — | — | — | — | — | — | — |



図—10 材令 28 日圧縮強度とセメント水比の関係



図—11 相対動弾性係数と凍結融解サイクルの関係

圧縮強度 σ_{28} (室内試験も一部含む) の関係で、 $C=150 \sim 280 \text{ kg/m}^3$ (セメント水比 0.85~1.68) に対する圧縮強度 σ_{28} は $85 \sim 346 \text{ kgf/cm}^2$ (8.3~33.9 MPa) となっており石粉の多量の添加に対する悪影響は特に認められなかった。

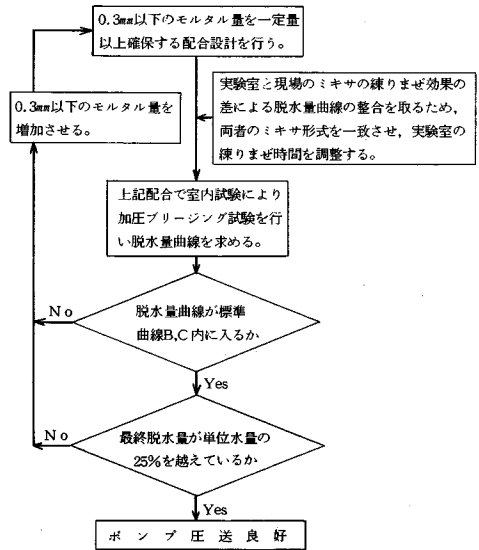
一方、凍結融解試験を配合 A, B, C について行った結果を図—11 に示す。相対動弾性係数は、3 配合とも 300 サイクル後でも 90% 以上を示しており、凍結融解に対する抵抗性は水セメント比が大きいかにかかわらず良好と判断された。

4. 圧送性の良好な配合の選定手順

(1) 配合選定手順

屋外圧送実験ならびに室内試験により、ポンプ圧送が良好なコンクリートは、その加圧ブリージング曲線が標準曲線 B, C 内にあることを確認するとともに、加圧ブリージング曲線を標準曲線 B の内側に入れるには 0.3 mm 以下のモルタル量を一定量以上確保する必要があることが明らかとなった。

これらの結果を踏まえて、ポンプ圧送が良好な配合を事前に選定する手順を図—12 に示す。ここで重要なこ



図—12 ポンプ圧送良好となる配合選定手順

表—10 ポンプ圧送良好な 0.3 mm 以下のモルタル量

| 粗骨材の最大寸法 (mm) | 細骨材の種類 | スランプ (cm) | 最小単位セメント量 (kg/m³) | 0.3mm以下のモルタル量 (kg/m³) |
|---------------|--------|-----------|-------------------|-----------------------|
| 20 | 天然砂 | 8 | 265 | 329 |
| | | 12 | 260 | 332 |
| | | 15 | 255 | 335 |
| 20 | 砕砂 | 8 | 290 | 331 |
| | | 12 | 285 | 333 |
| | | 15 | 280 | 337 |
| 40 | 天然砂 | 8 | 250 | 315 |
| | | 12 | 245 | 318 |
| | | 15 | 240 | 321 |
| 40 | 砕砂 | 8 | 280 | 326 |
| | | 12 | 275 | 329 |
| | | 15 | 270 | 332 |

とはコンクリートの供給を受けるレデーミクストコンクリートの加圧ブリージング曲線をあらかじめ入手し、実験室のミキサ形式を合わせておくとともに練りませ時間の調整をしておくことである。

また、硬練りコンクリートの場合、たとえ加圧ブリージング曲線が標準曲線 B, C 内にあつたとしても、最終脱水量が 25% 以下では圧送できなかった報告^{4),5)}があることから「最終脱水量が単位水量の 25% 以上あること」を判定条件に加えた。

(2) 必要とされる 0.3 mm 以下のモルタル量

良好な圧送を行うために必要とされる 0.3 mm 以下のモルタル量については、石粉またはフライアッシュを添加する場合、図—8 の結果を参考とすることができる。

図—8 において、フライアッシュを添加した場合の方が石粉を添加した場合より、0.3 mm 以下のモルタル量が少なくてよい理由は、フライアッシュの方が粒径が小さく、粒子が球に近いと推定される。ただし $C=$

250 kg/m³ の場合には、フライアッシュを添加した場合も石粉を添加した場合も 0.3 mm 以下のモルタル量がほぼ同じこと、また $C=290 \text{ kg/m}^3$ で石粉またはフライアッシュを添加しない場合、 $C=250 \text{ kg/m}^3$ で石粉またはフライアッシュを添加した場合より 0.3 mm 以下のモルタル量が多くなることについては、今回の実験ではその理由を明らかにできなかった。

石粉またはフライアッシュを添加しない場合には、表—10 の 0.3 mm 以下のモルタル量を目安として配合設計を行うことが可能である。表—10 は、 G_{\max} 、細骨材の種類、スランプを変化させ、加圧ブリージング曲線が標準曲線 B 以内に入る 0.3 mm 以下のモルタル量の最小値を室内試験および既往の屋外圧送実験も含めて、総合的に検討し求めたもので、その際の最小単位セメント量も参考として示している。ただし、細骨材、粗骨材、セメントの種類等の違いによっては、この値と異なる場合も生じる。0.3 mm 以下のモルタル量は、砕砂より天然砂を用いた方が少なくてもよいことはもちろんだが、 G_{\max} が大きいほど、また、スランプが小さいほど少なくてもよいことを示している。

5. ま と め

本研究は、フレッシュコンクリート中の 0.3 mm 以下のモルタル量に着目し、単位セメント量 150～250 kg/m³、スランプ 8 cm 程度の貧配合コンクリートに対して、石粉またはフライアッシュを添加することによるポンプ圧送性の改善効果を、屋外実験および室内試験により確認し、圧送良好となる配合選定の手順および確保すべき 0.3 mm 以下のモルタル量を定量的に把握したものである。

本研究において、明らかとなったことの要点は以下のとおりである。

(1) $C=150\sim 250 \text{ kg/m}^3$ 、スランプ 8 cm 程度の貧配合コンクリートは、石粉、フライアッシュなどの微粉末混和材を 30～170 kg/m³ 程度添加することによりポンプ圧送を可能とすることができる。

(2) 加圧ブリージング試験の圧送良否の判定に用いる標準曲線 B は配管径 125 A 管の場合、十分な精度を有しているが、配管径 150 A 管の場合には、余裕をもち安全側の評価を与える。

(3) 加圧ブリージング曲線は、ミキサ形式、練りませ時間により影響を受けるため、あらかじめ実験室で加圧ブリージング試験によりポンプ圧送の良否を判定する場合は、コンクリートの供給を受けるレデーミキストコンクリートの加圧ブリージング曲線と合うようにミキサ形式を合わせ、練りませ時間を調整しておく必要がある。

(4) 経済的でポンプ圧送が可能なコンクリートの配

合選定は、0.3 mm 以下のモルタル量を一定量以上確保するとともに加圧ブリージング試験により確認することで可能である。

(5) 確保する必要のある 0.3 mm 以下のモルタル量は、スランプ、粗骨材の最大寸法、細骨材の種類等の違いによって異なっており、スランプ 8 cm、粗骨材の最大寸法 20 mm、砕砂使用のコンクリートで石粉またはフライアッシュを添加した場合ならびに石粉またはフライアッシュを添加せずスランプ、粗骨材の最大寸法、細骨材の種類を変化させた場合について確保する必要のある 0.3 mm 以下のモルタル量を目安として図—8 および表—10 に定量的に示した。

(6) 30～120 kg/m³ の石粉を添加しても図—11 に示すとおり、凍結融解に対する抵抗性に悪影響は認められない。また、圧縮強度についても図—10 に示すとおり、特に悪影響は認められない。

6. お わ り に

本報告では、コンクリートのポンプ圧送性について材料および配合面の検討を行い種々の提案を行った。コンクリートはセメント、細・粗骨材、水、混和材等の均衡のとれた配合とする必要があるため、粒径 0.3 mm 以下の微粉末を含むモルタル量の設定においては、これらを十分に加味する必要がある。

コンクリートのポンプ圧送は、材料、配合の他にコンクリートポンプの機種、施工条件等の要因が大きく影響し、これらが密接に関連している。このうち 1 つの要因でも適切でなければ圧送不良となるので、コンクリートポンプ工法では、総合的な事前検討が重要となる。

本報告が、今後のコンクリートポンプ工法の参考となり、合理的、経済的なコンクリートの配合選定が行われるとすれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針（案），pp. 24～25，昭和 60 年 11 月。
- 2) 田沢栄一：ポンプ圧送技術の現状と問題点，コンクリート工学，pp. 13～22，1983 年 11 月。
- 3) 島山 昭・関根裕治・坂本全布：微粉材による貧配合・硬練りコンクリートのポンプ圧送性の改善，土木学会第 41 回年次学術講演会概要集 V，1986. 11。
- 4) 田沢栄一・山本康弘・坂本全布・早川光敏：SEC コンクリートにおけるポンプ圧送性の評価方法，フレッシュコンクリートの物性値の測定法ならびに挙動に関するシンポジウム，1983。
- 5) 坂本全布・鈴木明人・黒羽健嗣・丸嶋紀夫：貧配合コンクリートのポンプ圧送に関する研究，第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集，1984。

(1987.12.11・受付)