

### 34 ポンプ輸送時の圧力が軽量骨材コンクリートにおよぼす影響に関する研究

東北大学工学部 正 員 後藤幸正 外門正直 杉山嘉徳  
東北大学大学院 学生員 ○小林茂樹

#### 1. まえがき

軽量骨材コンクリートとポンプ施工する際、ポンプから送り出される時の圧力によって、セメントペースト中の水が骨材粒内部に圧入されるため、コンクリートのコンシステンシーが急変し、しばしばパイプ閉塞をおこすことがある。

筆者らは、かねて軽量骨材の加圧吸水特性、軽量骨材コンクリートのコンシステンシーにおよぼす加圧の影響などを調べ、さらにコンシステンシー急変の一防止策として、微粉末で軽量骨材粒内部に水の浸入する通路を塞ぎ、骨材の加圧吸水量を小さくする方法を検討し、実験室における加圧実験およびポンプ輸送現場実験によってその効果もある程度確かめた。しかし、上述の実験では水中における軽量骨材の加圧吸水特性は明らかにはされたが、コンクリートすなわち、ペースト中における骨材の加圧吸水特性については明らかではなく、このため加圧によるコンクリートのコンシステンシーの変化は加圧する前のスランプと除圧した後のスランプとで比較しており、パイプ閉塞が生ずる時点、すなわち加圧中のコンシステンシーについてはなんら明らかではなかった。また、軽量骨材コンクリートの強度や乾燥収縮などにおよぼす加圧の影響および上記骨材処理の影響についても十分明らかではなかった。この報告は今までの実験とさらに発展させて前述の不明な点について検討したものである。

#### 2. 実験材料および実験方法

セメントは、東北開発社製普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には白石川産砂（比重2.50、吸水量2.7%、粗粒率2.56）、粗骨材には非造粒型膨張頁岩軽量骨材メサライト（絶乾比重1.25、24時間吸水量9.4%）を使用した。粗骨材処理材料としては消石灰および硫酸バリウムを使用した。表-1に実験に用いたコンクリートの配合を示し、表-2に微粉末懸濁液による粗骨材処理方法を示す。骨材およびコンクリートの加圧実験は写真に示す加圧装置を用いて水圧をかけたおこなった。粗骨材の場合はそのまま試料を圧力容器に入れ、コンクリートの場合にはあらかじめゴム袋に詰め密封した後圧力容器に入れて水圧をかけた。粗骨材およびコンクリートの加圧実験において、粗骨材の加圧吸水量および除圧後の吐出水量は、圧力容器に試料を入れ水で満たし、圧力容器全体の加圧中の重量増加および除圧後の重量減少を測定し補正して求めた。圧力はポンプ輸送中加わった圧力を想定し20kg/cm<sup>2</sup>までとした。なお加圧時間は所定の圧力に

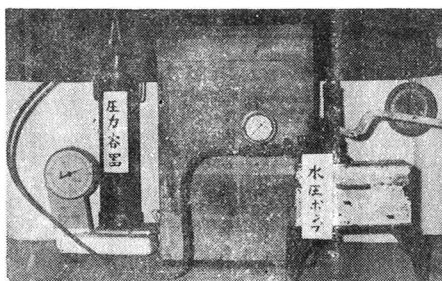
表-1 コンクリートの配合

| 配<br>合 | 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | 水セ<br>メント<br>比<br>(%) | 細骨<br>材<br>(%) | 単 位 量            |           |                 |                                                |
|--------|---------------------|-----------------------|----------------|------------------|-----------|-----------------|------------------------------------------------|
|        |                     |                       |                | セ<br>メント<br>(kg) | 水<br>(kg) | 細骨<br>材<br>(kg) | 粗骨材(m <sup>3</sup> )<br>15~10<br>mm 10~5<br>mm |
| I      | 15                  | 60                    | 40             | 335              | 201       | 677             | 0.204 0.204                                    |
| II     | 15                  | 64                    | 50             | 314              | 201       | 854             | 0.171 0.171                                    |

表-2 粗骨材処理方法

| 記号 | 処 理 方 法                  |
|----|--------------------------|
| A  | 加熱した粗骨材を微粉末懸濁液中に投入し急冷    |
| B  | プレウェッチングした粗骨材に微粉末懸濁液をかける |

写真 加圧装置



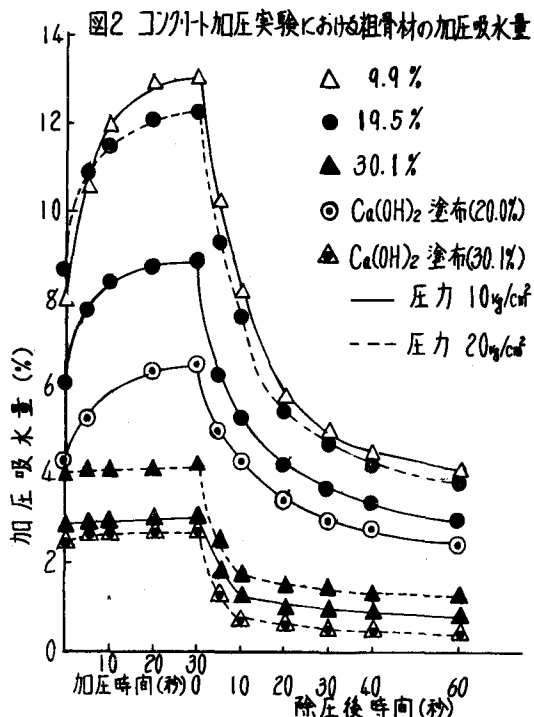
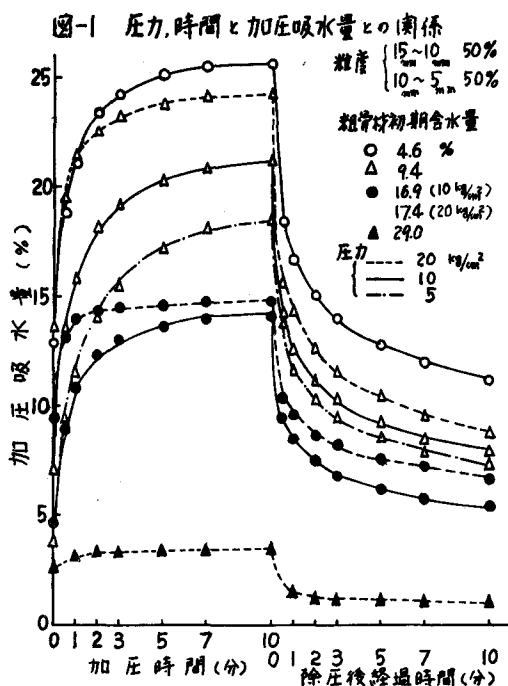
達した後その圧力を保持した時間を表わす。加圧開始より所定の圧力に達するまでに要した時間は、それぞれ圧力  $20 \text{ kg/cm}^2$  の場合約 20 秒、 $10 \text{ kg/cm}^2$  の場合約 10 秒、 $5 \text{ kg/cm}^2$  の場合約 7 秒であった。加圧によるコンシステンシーの変化は加圧前のスランプと除圧後約 5 分時のスランプで求めた。また、強度および乾燥収縮測定用供試体は除圧後約 5 分時に作成した。

### 3. 実験結果

初期含水量の異なる粗骨材を水中で 10 分間加圧した後、除圧した場合の圧力、加圧時間および除圧後経過時間と加圧吸水量との関係を図-1 に示す。図-1 から明らかのように、初期含水量の小さいものほど、また圧力が大きくなるほど加圧吸水量は大きくなる。図-1 で総吸水量（初期含水量 + 加圧吸水量）を計算すると、圧力が同じならば初期含水量が異なっても、総吸水量にはあまり差がなくなり、加圧時間 10 分では、圧力  $20 \text{ kg/cm}^2$ 、 $10 \text{ kg/cm}^2$ 、 $5 \text{ kg/cm}^2$  でそれぞれ約 33%、31%、28% である。

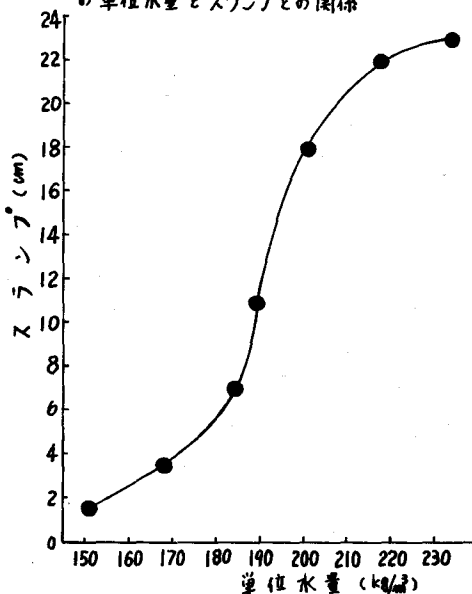
図-2 はコンクリートを加圧した場合のペースト中における粗骨材の加圧吸水量を示している。図-1 および図-2 から、ペースト中における粗骨材の加圧吸水、除圧放水は水中における場合とほぼ同様な傾向を示しており、初期含水量を大きくするとやや消石灰で処理することは加圧吸水量を小さくするのに有効であることがわかる。

このようにコンクリートを加圧すると粗骨材が吸水してコンクリートのコンシステンシーが変化することが予想されるが、これだけでは加圧中のコンクリートのコンシステンシーがどの程度になっていくかはわからない。そこであらかじめ、はじめのコンクリートの単位水量から粗骨材に吸水される水量を減じた単位水量のコンクリートのコンシステンシーがわかっていれば、さきの図-2 とあわせて加圧中のコンシステンシーが推定できる。この目的で配合 I において水以外の成分の量を一定にしたまま、水量だけをえたコンクリートの



単位水量とスランプとの関係を調べたのが図-3である。図-2および図-3から加圧中のコンクリートのコンシステンシーを推定する例を示すと、たとえば初期含水量19%の粗骨材を用いたスランプ18cmのコンクリートを圧力10kg/cm<sup>2</sup>で加圧した場合、加圧時間30秒時の粗骨材の加圧吸水量は図-3から約9%であり、これは水量では約45kg/m<sup>3</sup>に相当し、コンクリートの単位水量は155kg/m<sup>3</sup>程度になっていることになり完全にノースランプ状態になっているものと推定される。同様に初期含水量30%の粗骨材を用いたコンクリートの場合、圧力10kg/cm<sup>2</sup>、加圧時間30秒でスランプ約8cm程度になるものと推定される。普通コンクリートのポンプ施工例におけるパンプ阻塞が生じないための限界のスランプがほぼ7~8cmであることがわかった。配合I程度の軽骨材コンクリートをポンプ輸送するためには、加圧吸水量が15kg/m<sup>3</sup>以下になるような粗骨材を使用しなければならぬことがわかる。

図-3 配合Iで %a, %c を一定にした場合の単位水量とスランプとの関係



初期含水量の異なる粗骨材を用いてコンクリートをつくり、加圧によるスランプ低下および材令28日の圧縮強度、曲げ強度と調べた結果を示したのが表-3である。また表-4は微粉末で処理した粗骨材を用いたコンクリートの場合である。これらの結果は前述の加圧吸水量の小さい粗骨材を用いたコンクリートほど、加圧によるスランプ低下率が小さくなることを立証している。特に微粉末懸濁液による粗骨材処理が非常に有効であることがわかる。

圧縮、曲げおよび引張強度におよぼす加圧はあまり顕著ではなく、また粗骨材処理がおよぼす影響についてみると、懸濁液の濃度が大きくなるといずれも低下しているが、同じ程度のスランプ低下とするものについて処理したものと処理しないものとを比較すれば

表-3 各種の方法でプレウェッティングした粗骨材を用いたコンクリートの加圧実験結果

| 粗骨材に吸水させる方法    | 初期含水量 (%) | 加圧条件        |          | スランプ     |          |         | 圧縮強度             |                 |                       | 曲げ強度             |                 |                       | 配合  |
|----------------|-----------|-------------|----------|----------|----------|---------|------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------------|-----|
|                |           | 圧力 (kg/cm²) | 時間 (sec) | 加圧前 (cm) | 除圧後 (cm) | 低下率 (%) | 加圧しないもの (kg/cm²) | 加圧したもの (kg/cm²) | 加圧したものと加圧しないものとの比 (%) | 加圧しないもの (kg/cm²) | 加圧したもの (kg/cm²) | 加圧したものと加圧しないものとの比 (%) |     |
| 水中浸漬           | 8         | 5           | 5        | 18.5     | 5.0      | 73      | 234              | 218             | 93                    | —                | —               | —                     | II  |
|                |           | 10          | 30       | 17.0     | 2.0      | 88      | 292              | 281             | 96                    | 41.6             | 42.4            | 102                   | I   |
| 水中煮沸           | 15        | 5           | 5        | 19.5     | 9.0      | 54      | —                | —               | —                     | —                | —               | —                     | II  |
|                |           | 10          | 30       | 18.0     | 2.5      | 86      | —                | —               | —                     | —                | —               | —                     | I   |
| 加熱した骨材を水中に投入急冷 | 20        | 20          | 30       | 23.0     | 7.5      | 67      | 225              | 245             | 109                   | 33.3             | 36.9            | 111                   | XX  |
|                | 22        | 10          | 30       | 17.0     | 4.0      | 75      | 283              | 286             | 101                   | 39.8             | 39.3            | 99                    | I   |
| 真空吸水           | 30        | 10          | 30       | 18.0     | 15.5     | 14      | 289              | 310             | 107                   | 41.5             | 42.5            | 102                   | I   |
|                |           | 20          | 30       | 18.0     | 14.0     | 22      | 289              | 309             | 107                   | 41.5             | 44.2            | 107                   | I   |
|                |           | 10          | 30       | 15.0     | 11.0     | 27      | —                | —               | —                     | —                | —               | —                     | *** |
|                |           | 20          | 30       | 15.0     | 10.0     | 33      | —                | —               | —                     | —                | —               | —                     | *** |

\* 真空ポンプで骨材粒内部の空気を吸い出したのち、吸水させたもの

XX 配合Iで %a, %c を一定にして W を変えて、スランプが 23.0 cm になるようにしたもの

\*\*\* 配合Iで %a, %c を一定にして W を変えて、スランプが 15.0 cm になるようにしたもの

表-4 微粉末懸濁液で処理した粗骨材を用いたコンクリートの加圧実験結果

| 微粉末の種類 | 骨材処理方法 | 懸濁液の濃度 | 加圧条件                     |          | スランプ     |          |         | 圧縮強度                              |                                      |                                   | 曲げ強度                                 |                                    |                                       | 純引張強度                              |                                       |                                    | 配合 | 備考         |
|--------|--------|--------|--------------------------|----------|----------|----------|---------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----|------------|
|        |        |        | 圧力 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 時間 (sec) | 加圧前 (cm) | 降圧後 (cm) | 低下率 (%) | 加圧したものの圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧しなかったものの圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧したものの曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧しなかったものの曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧したものの純引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧しなかったものの純引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧したものの純引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧しなかったものの純引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧したものの純引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> ) |    |            |
| 消石灰    | A      | 0%     | 10                       | 30       | 17.0     | 4.0      | 75      | 283                               | 286                                  | 101                               | 39.8                                 | 39.3                               | 99                                    | 22.3                               | 22.5                                  | 101                                | I  |            |
|        |        | 20     | 10                       | 30       | 17.5     | 6.0      | 66      | 268                               | 272                                  | 101                               | 36.8                                 | 37.8                               | 103                                   | 21.2                               | 21.5                                  | 101                                | I  |            |
|        |        | 25     | 10                       | 30       | 17.5     | 13.5     | 23      | 243                               | 253                                  | 104                               | 33.0                                 | 34.0                               | 103                                   | 20.3                               | 20.7                                  | 102                                | I  |            |
|        |        | 30     | 10                       | 30       | 17.0     | 15.5     | 9       | 220                               | 223                                  | 101                               | 29.9                                 | 31.0                               | 104                                   | 19.7                               | 19.1                                  | 97                                 | I  | (粗骨材は加圧せず) |
|        | B      | 30     | 10                       | 30       | 21.0     | 13.5     | 36      | 215                               | 215                                  | 100                               | 31.2                                 | 30.9                               | 99                                    | 19.1                               | 18.2                                  | 95                                 | I  | 20 %       |
|        |        | 40     | 10                       | 30       | 19.0     | 4.5      | 76      | —                                 | —                                    | —                                 | —                                    | —                                  | —                                     | —                                  | —                                     | —                                  | I  | 8 %        |
|        |        |        | 10                       | 30       | 19.0     | 10.0     | 47      | —                                 | —                                    | —                                 | —                                    | —                                  | —                                     | —                                  | —                                     | —                                  | I  | 15 %       |
|        |        |        | 10                       | 30       | 20.0     | 13.5     | 32      | 231                               | 232                                  | 100                               | 34.6                                 | 33.5                               | 97                                    | 20.2                               | 21.1                                  | 104                                | I  | 20 %       |
|        |        |        | 10                       | 30       | 19.5     | 18.0     | 8       | —                                 | —                                    | —                                 | —                                    | —                                  | —                                     | —                                  | —                                     | —                                  | I  | 30 %       |
|        |        |        | 20                       | 30       | 15.0     | 14.0     | 7       | —                                 | —                                    | —                                 | —                                    | —                                  | —                                     | —                                  | —                                     | —                                  | XX | 30 %       |
| 硫酸バリウム | A      | 25     | 10                       | 30       | 18.0     | 14.0     | 22      | 274                               | 279                                  | 102                               | 37.8                                 | 38.1                               | 101                                   | 21.7                               | 21.9                                  | 101                                | I  |            |

\* 比較のため懸濁液のかわりに水を用いてプレウエッチングしたもの

XX 配合比で % を一定にし、W/P をえてスランプ 15.0 cm にならうようにしたものである。

処理したものの方が強度の点ですぐれている。

初期含水量が 8 %、20 % および濃度 30 % の消石灰で A 処理した 3 種の粗骨材を用いてコンクリートをつくり、乾燥収縮測定用供試体 (10<sup>mm</sup> × 10<sup>mm</sup> × 40<sup>mm</sup>) を作成して、1 週間水中養生した後温度 20℃、相対湿度 60 ~ 80 % の恒温恒湿室に放置して、乾燥材令にともなう供試体の重量減少と収縮率を測定した結果を図-4 に示す。図-4 から使用した粗骨材の初期含水量が大きいコンクリートほど、乾燥によるコンクリートの重量減少率が大きいことがわかる。一方、収縮についてみると、使用した粗骨材の初期含水量が大きいコンクリートほど、乾燥初期には収縮率は小さいが、長期にわたって収縮が緩くことがわかる。また、コンクリートの乾燥による重量減少と収縮におよぼす加圧の影響はあまり顕著でないようである。

#### 参考文献

- 1) 後藤他 3 名 「軽量骨材コンクリートの加圧によるコンシステンシーの急変とその防止策」 構造用軽量骨材シンポジウム、コンクリートライブラリー第 24 号、1969 年 10 月、土木学会
- 2) 後藤他 3 名 「ポンプ輸送時の圧力が軽量骨材コンクリートにおよぼす影響」 土木学会第 24 回年次学術講演会講演集第 4 部 昭和 44 年 9 月

図-4 乾燥によるコンクリートの重量減少および収縮

