

論文 コンクリート圧ジャッキに関する基礎実験

内崎 巖*1

要旨: コンクリートを作動液体とするコンクリート圧ジャッキを考え、それに不可欠な装置と考えられる加圧脱水装置を設計するために、定性的な加圧脱水実験を実施した。密閉容器の中にモルタルを入れて加圧脱水し圧力と間隙水圧を測定して、両者の差である粒子圧が硬化初期段階においてどのように変化するかを調べた。その結果、セメントペーストは加圧脱水方式により粒子圧を付与できることが分かった。このことは、綿毛状の構造で堆積する性質を備えたセメント粒子と同程度の大きさの粒子であれば同様に加圧方式で粒子圧を付与できることを示している。また、加圧方式として外部からピストンで加圧する方式の他に、内部に膨脹体を設ける方式にも検討を加えた。

キーワード: ジャッキ、間隙水圧、発泡コンクリート、気泡コンクリート、粒子圧

1. はじめに

高所にコンクリートを圧送するために用いられるコンクリートポンプには100気圧を越える性能を備えたものが広く使われている。この高い圧力を利用して伸長する密閉容器の中にコンクリートを圧入すれば、油圧ジャッキと同様な揚重機能を備え、そのうえコンクリート硬化後支持部材として利用できるジャッキができるはずである。ただし、油とは異なりフレッシュコンクリートには圧縮性があり、ブリージングが起り、硬化にともない収縮する。コンクリート圧ジャッキを実現するにはこれらの課題を克服することが必要であり、とりわけ、ブリージングによる空隙のない密実なコンクリートで満たされることが重要である。こうした考えから、密閉容器の中にモルタルを入れて加圧脱水し圧力と間隙水圧の変化を調べる小規模な実験を実施して、硬化初期段階における原理的可能性を検討したので以下に報告する。

2. コンクリート圧ジャッキとは

2.1 コンクリート圧ジャッキの基本構造

コンクリート圧ジャッキを一言で言うならば、作動液体としてフレッシュコンクリートを用いるジャッキである。その構造の一例としては、図-2.1に示すように、基本的には油圧ジャッキと同様な構造が考えられる。コンクリート硬化後支持部材として用いるには、何度も伸びたり縮んだりする油圧ジャッキとは異なり、コンクリート圧ジャッキは基本的には一度伸びるだけでよい。しかし、コンクリートが液体としての性質を備えている状

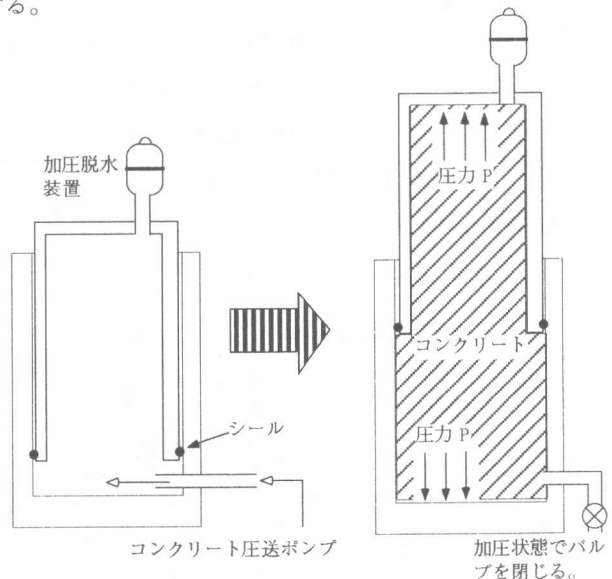


図-2.1 コンクリート圧ジャッキの基本構造

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員 (正会員)

態から固体に変わるまで長期間上載荷重を支持することが要求される。つまり、管路を閉じた後フレッシュコンクリートの圧力を保持するだけでなく、さらに硬化後は固体として上載荷重を伝達できるように密実で空隙があつてはならない(図-2.2)。

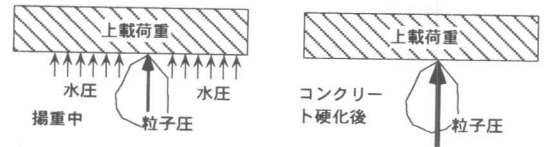


図-2.2 コンクリート硬化前後の圧力

一方、作動油とは異なりフレッシュコンクリートには圧縮性があり、ブリージングが起こり、硬化にともない収縮するのだから、従来の油圧ジャッキの機構では明らかに不十分である。ジャッキ用作動液としては短所となるこうしたコンクリートの性質を克服し上載荷重を支持し続けるためにはコンクリート圧ジャッキには特別な工夫が必要となる。

とりわけ、コンクリート圧ジャッキには管路から遮断された後ブリージング水を排水するとともに上載荷重による圧力と同等ないしそれ以上の圧力を付与する機能が重要と考えられる。前図-2.1に示すコンクリート圧ジャッキにはそうした機能を備えた加圧脱水装置を上端部に設ける構想である。この装置は主に圧力を付与するピストンと排水フィルターとから構成されており、コンクリートが管路から遮断された後、加圧脱水装置内のピストンを押し下げてコンクリート圧を高め余剰水を排水する役割を担っている。

3. 実験目的

コンクリート圧ジャッキは初めての試みであり、不確実な要素を多く含んでいる。とくに前章で述べた加圧脱水装置が果たして期待どおりに機能するかどうか、は重要な課題と考えられた。そこで、本装置の原理的可能性について調べることを目的に硬化の初期段階における定性的実験を極めて小規模ながら実施した[1]。

4. 実験装置

実験装置は図4-1に示す構造をしており、基本的にはコンクリート圧ジャッキの上端部を部分的に取りだした形

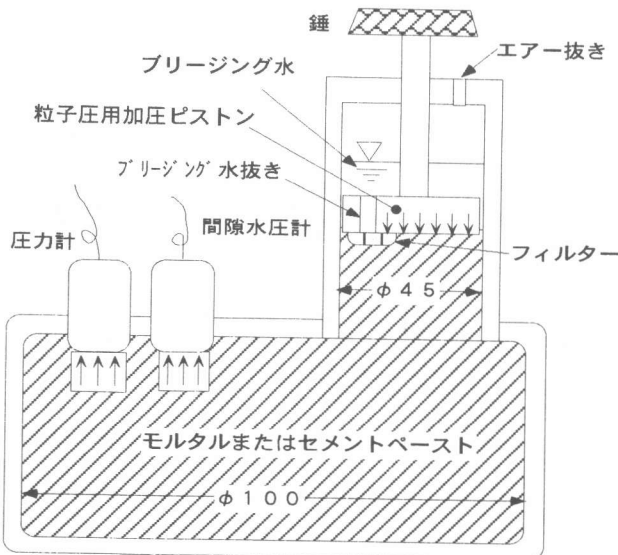


図-4.1 実験装置

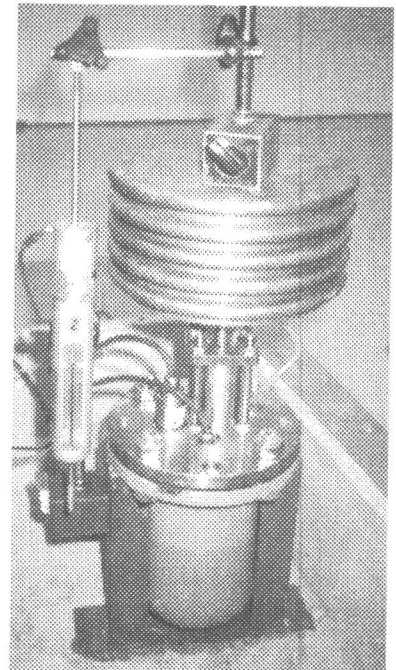


写真-4.1 実験装置

を想定している。実験装置上部には加圧用のピストンとシリンダー、脱水用のフィルター、間隙水圧計と圧力計が取り付けられている。間隙水圧計を取り付けた目的は全圧を検出する圧力計の値と間隙水圧計の値との差、すなわちセメントや骨材の粒子による圧力を調べるためである。写真-4. 1に実験中の様子を示す。

実験方法は容器内に試料をシリンダー部分まで投入し、ピストンに錘を載せて常に一定の圧力を作用させ圧力と間隙水圧の経時変化を測定した。

5. 実験結果と検討

5. 1 セメントモルタルの加圧脱水実験

通常モルタルが加圧脱水を受けると、圧力と間隙水圧がどのように変化するかを先ず調べた。試料として用いたモルタルの調合を表-5. 1に、加圧力約2 kgf/cm²における実験結果を図-5. 1に示す。フロー値は243であった。

加圧直後には、圧力は同図-5. 1のように加圧力の75%の約1.5 kgf/cm²を示し、その後徐々に減りはじめこの傾向は測定を

停止した3時間後まで続いた。この間、圧力と間隙水圧は100分後まではほぼ同様の漸減傾向で推移し、これらの差である砂及びセメント粒子による粒子圧は殆ど検出されなかった。最終脱水量は26ccであった。

間隙水圧が漸減したのは当然ながら脱水したことが主要因であるが測定終了近辺ではセメントの硬化反応による影響も受けている。これは同じ装置を用いて別途実施した実験で温度変化を図ったところ、四時間後に温度が上昇し始めたことから推察できる。

加圧当初において圧力が加圧力より大幅に低減した理由はピストンに接触する砂粒子のアーチ作用により圧力が分散したためと考えられる。試料としたモルタルの砂セメント比が110%の調合では砂粒子の影響により流体的圧力伝達性が乏しくなるのである。

5. 2 気泡モルタルの加圧脱水実験

前項の実験では砂のアーチ作用が働いて圧力が伝わり難かった。そこで気泡を混入したモルタルを用いて前項と同様の実験を実施し、比較した。試料とした気泡モルタルの調合は表-5. 2に示す通りであり、AE剤に

表-5.1 セメントモルタルの調合 単位：g

水	セメント	砂 S1	砂 S2	砂 S3
1200	2500	916	916	916

砂の大きさ：S1<0.6mm<S2<1.2mm<S3<5mm

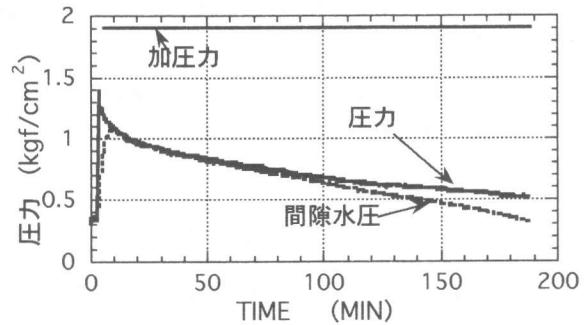


図-5. 1 モルタルの実験結果

表-5. 2 気泡モルタルの調合 単位：g

水	セメント	砂 S1	砂 S2	砂 S3	AE剤
1200	2500	916	916	916	0.25

砂の大きさ：S1<0.6mm<S2<1.2mm<S3<5mm

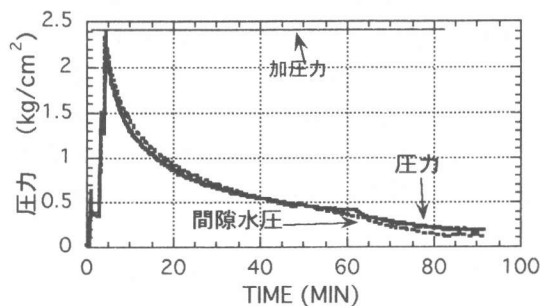


図-5. 2 気泡モルタルの実験結果

より空気量を11%混入した。

実験結果を図-5.2に示す。加圧初期における圧力と間隙水圧は加圧力とほぼ同じ値を示した。このことは加圧直後では砂のアーチ作用がピストンに働いていないと理解できる。しかし、脱水に伴いアーチ作用は起こっている。実際、データ収集直後に一度錘を取り除き再度載加したところ、圧力は 0.6kgf/cm^2 しか示さなかった。一度砂が競るとその上からピストンで押し下げても圧力は下まで伝わらないのである。

その後、圧力と間隙水圧は全く同じ漸減傾向を示し、90分後には両者とも殆どなくなっている。最終排水量は 95cc であった。

圧力と間隙水圧の間には大きな差は現れなかった。このことは密閉容器上部の蓋に取り付けられた圧力計には粒子は殆ど接触していないことを示しており、水を介して内部の気泡に蓄えられた圧力が検出されていたと考えられる。また、圧力と間隙水圧の漸減傾向は当然ながら脱水によるものであり、水とともに空気も排出されている。

砂のアーチ作用を避けるために気泡を導入すると、モルタル全体が空気の弾性体に近い性質を帯びてくるのである。そして、この状態から水分を抜き気泡の圧力を開放しても錘による加圧力が圧力計に伝わるようになるわけではなく、やはり砂のアーチ作用が起こっていると理解できる。

5.3 セメントペーストの加圧脱水実験

本実験装置のような加圧脱水機構を採用するならば、脱水量に見合う分だけピストンを押し下げることが要求される。しかし、前項までの実験で、一旦砂のアーチが起こるとピストンでアーチを壊して押し下げることが困難となることがわかった。そこ綿毛状の構造で構成されるセメントペーストを用いる加圧実験を実施した。セメントペーストの水セメント比は41%であり、フロー値は218であった。実験結果を横軸に時間、縦軸に圧力を取って図-5.3に載荷中の変化を、図5.4に全測定時間を示す。

図-5.3はセメントペーストが流体的圧力伝達特性を備えていることを示す図であり、左側の階段状の波形は錘をピストンに追加して載せたことに対応している。この錘はピストン断面積当たり 0.92kgf/cm^2 であるのに対し、波形の段差は 0.96kgf/cm^2 である。本装置のように狭い容積を用いた検討範囲ではあるが、フロー値218程度のセメントペーストの加圧初期の圧力伝達特性は確かに流体に近い性質を備えている。

図-5.4は図-5.3に示す $W/C=41\%$ のセメントペーストを試料とした加圧脱水の長時間経過を示している。

全圧を示す圧力計の出力波形をみると、載加当初の最大値はピストン圧力 2.8kgf/cm^2 とほぼ同じ

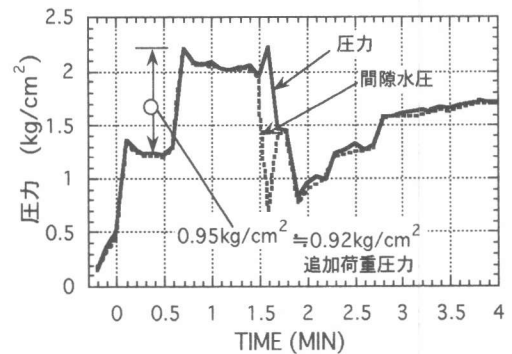


図-5.3 セメントペーストの実験結果(1)

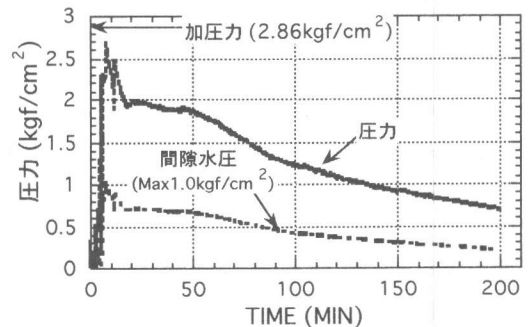


図-5.4 セメントペーストの実験結果(2)

2.7kgf/cm²を示した後、徐々に減りはじめ3時間半後には0.7kgf/cm²にまで低下した。

これに対して間隙水圧の方は載加当初圧力の1/3程度の1kgf/cm²弱を示し、圧力と間隙水圧には大きな差が検出された。この差約1kgf/cm²強はセメントの粒子が圧力計受圧面に接触することにより発生する圧力と理解できる。その後、間隙水圧も徐々に減りはじめ3時間半後には0.2kgf/cm²に低下した。しかし、前述したようにこの時にはまだ圧力は0.7kgf/cm²残っていた。

以上の結果から次の諸項が言える。

- 1) セメントペーストは流体的圧力伝達特性を示す。これは、セメント粒子の大きさが砂に比べて細かく粘土のような綿毛状構造で構成されているため圧縮性を備えてくることに起因すると、考えられる。そうだとすれば、粒径がセメント粒子乃至それ以下の粒子をセメントに混入することで本実験のように粒子圧を高める方法は充分考えられる。
- 2) もし、硬化しても粒子圧が残留するならば、コンクリート圧ジャッキの加圧装置でセメントペーストをコンクリート圧ジャッキ頂部に高圧で圧入する方法は空隙防止の有力な手段と考えられる。参考文献 [1] 「加圧して硬化させたコンクリート」の実験記述によれば加圧力は当初の25～45%残留することが報告されている。ただし、この場合では骨材のアーチ作用による圧力残留効果が大いのではないかと考えられる。

また、細かな粒子と水との混合物を加圧脱水すると粒子圧が残るのならば、セメント粒子のかわりの材料、たとえば石膏を用いることも検討に値する。上載荷重を一時的に支持する仮設的ジャッキの用途であれば実用的意味は充分あろう。

表-5.3 発泡モルタルの調査 単位：g

水	セメント	砂 S1	砂 S2	砂 S3	アルミ粉末
1200	2500	916	916	916	0.5

砂の大きさ：S1<0.6mm<S2<1.2mm<S3<5mm

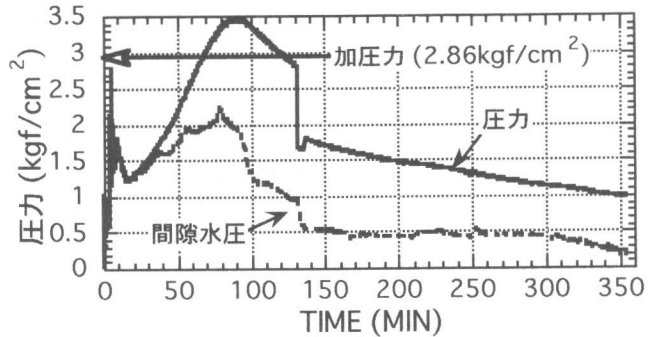


図-5.5 発泡モルタルの実験結果

5.4 発泡モルタルの加圧脱水実験

小規模な支持部材ならば、加圧装置としてコンクリート圧ジャッキ内部に体積膨脹体を挿入する方法が考えられる。ここでは、試料としてアルミ粉末を添加した発泡モルタルを用い、内部から圧力を高めることにより圧力と間隙水圧がどのように変化するかを調べた。表-5.3に調査を示す。

実験結果は図-5.5に示すように、加圧当初は圧力と間隙水圧とは殆ど同じ値を示したが、30分を過ぎる頃から徐々に差が現れ始めた。その差は2時間後に最大で2kgf/cm²に達した。圧力は錘による圧力を越えて3.5kgf/cm²にまで上昇した。また、約6時間後において間隙水圧が殆どなくなっても粒子圧は約1kgf/cm²が残っていた。

この図から次のことが読みとれる。加圧当初、圧力と間隙水圧とに差がなかった点は5.1及び5.2の実験結果とよく一致する。これらの項で既に述べたようにシリンダーには砂のアーチが働いていると考えられる。しかし、圧力と間隙水圧には大きな差が現れているのだから、セメント粒子や砂粒子が圧力計を押していることは間違いない。アルミ粉末による発泡の効果が現れたもので

ある。

この実験で明らかになったこととして、コンクリート圧ジャッキ内部に圧力増大装置を取り付けることで砂セメント比が110%であっても粒子圧を作用させ得ることが挙げられる。また、この粒子圧は間隙水圧がなくなっても残っていることも分かった。

これらのことをコンクリート圧ジャッキに当てはめると次のようなことが言える。

ピストン方式の加圧脱水装置はコンクリート圧ジャッキ上部に突き出ているが、内部に加圧装置を取り付けることで加圧機能を代替できそうである。外部に突起物はなくなる。しかしながら、内部加圧装置の膨脹量は全コンクリート体積の10%以上が必要と考えられるので大容量のジャッキには向いていない。内部加圧方式は小規模なコンクリート圧ジャッキに適した方式であろう。

6. まとめ

セメントモルタルとセメントペーストの2種類の試料を対象に加圧脱水実験を実施してまだ固まらない段階における圧力と間隙水圧を測定し、それらの差として求められる粒子圧の変化を検討した。小規模な加圧容器による実験で調べた範囲ではあるが、その結果わかったことをまとめると、次のようになる。

- 1) セメントペーストは加圧当初は圧力をよく伝達する。これはセメント粒子が空隙の多い綿毛状の構造で詰まっていることによるものと考えられる。
- 2) 発泡モルタルでは加圧脱水開始後、1～2時間程度で間隙水圧は大幅に低減するが圧力（全圧）はかなり残っている。しかし、時間とともに減少する傾向にあり、粒子圧を硬化後も残留させるには硬化による収縮特性を考慮して材料を選定する必要がある。

今後は加圧力を高めて硬化までの圧力を調べるとともに材料面での検討を進める予定でいる。

参考文献

- [1] 杉木六郎ほか：加圧して硬化させたコンクリート、セメントコンクリート、No151, pp.10-14, Sep. 1959