

コンクリート中への物質侵入過程に及ぼす持続荷重応力の影響

コンクリート研究室 川島 徹
指導教員 下村 匠

1. 背景と目的

供用中のコンクリート部材中においては、コンクリートの応力状態が、塩化物イオンなどの外界から侵入する物質の侵入・拡散過程に何らかの影響を与えている可能性がある。RC 部材では引張鋼材周辺のコンクリートは引張状態にある。一方、PC 部材および PRC 部材では、プレストレスによる圧縮応力が導入されている。

現行の土木学会コンクリート標準示方書における塩化物イオン拡散係数算定式には、コンクリートの応力状態の影響は反映されていない。もしも、持続圧縮応力がコンクリートの細孔組織を圧密することにより塩化物イオンの侵入・拡散を抑制するのであれば、この効果を拡散係数算定式に取り入れれば、PC および PRC 部材の耐久性の優位性を設計において考慮することができる。

一方、持続荷重応力によりコンクリートの細孔組織が破壊され、物質遮蔽性が損なわれる危険性も考えられる。いずれにせよ、持続圧縮応力がコンクリートの物質透過性に及ぼす影響に関する実験事実を正しく把握することが先決である。

既往のコンクリートの物質透過性に関する研究報告からは、持続荷重応力が物質透過性に及ぼす影響に関する統一された事実を確認することができない。圧縮力により塩化物イオンの拡散が抑制されるのか、促進されるのかといった基本的な傾向さえも研究者により結論が異なっている。

そこで、本研究では、圧縮応力がコンクリートの物質透過抵抗性に及ぼす影響について、持続荷重応力レベルと W/C をパラメータとした系統的实验を行った。そして、この実験結果より、圧縮力がコンクリートの物質透過抵抗性に及ぼす影響について、ベンチマークとなる一般的事実を明らかにすることを本研究の第 1 の目的とする。さらに、本実験結果を含め、圧縮応力がコンクリートの物質透過抵抗性に及ぼす影響に関する既往の実験結果を、その実験条件の違い、問題としている物質透過性の違いなどから統一的に説明することを第 2 の目的とする。

2. 既往の研究

コンクリートの応力状態と物質移動抵抗性に関する既往の研究を統合し、整理した。これにより、それぞれの既往の研究結果の間にある相違点を明らかにした。なお、各々の既往の実験にて採用されている供試体、透過物質、実験方法および測定項目は異なっているが、全ての実験が応力状態をパラメータとした、応力状態とコンクリートの

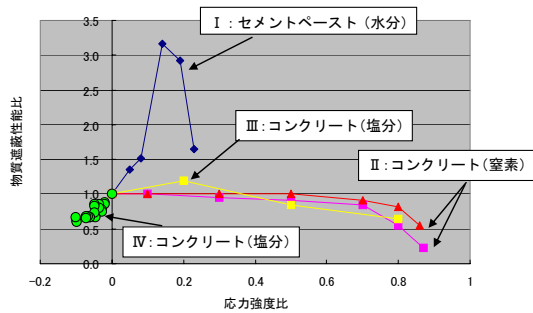


図-2.1 応力強度比と物質遮蔽性能比

物質透過性との関係を観察するものである。図-2.1は結果を図化したものである。

図-2.1より、圧縮側について、セメントペーストとコンクリートでは実験結果が異なっている。また、コンクリートを用いた実験では、圧縮力による顕著な影響は見られず、その傾向も同一とみなすことができる。一方、図-2.2に示す引張側では、圧縮側で見られたような、実験に用いる材料の相違による結果の相違が見られず、応力状態と物質遮蔽性能との関係において、その材料はたいした役割を演じていないことがわかる。つまり、応力状態と物質遮蔽性能との関係において、実験に用いる材料、力の方向、透過物質および透過方法といった諸条件が、結果に影響をもたらすことが確認できる。

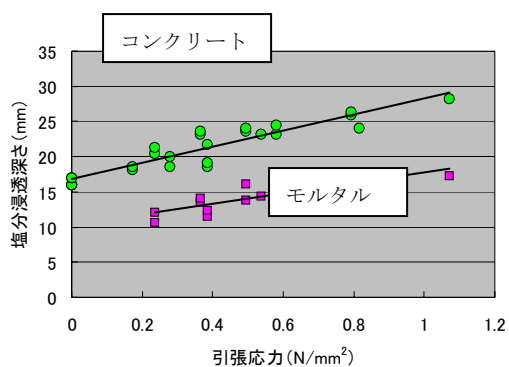


図-2.2 既往の研究 (引張側)

3. 圧縮応力と吸水性能

一軸圧縮応力がコンクリートの物質遮蔽性能に及ぼす影響を大まかに把握するため、シンプルな2つの吸水試験を行った。

3.1 浸水吸水試験

供試体は 10×10×40cm の角柱コンクリート供試体で、断面中央にφ29 鋼製シースを配した。W/C=55%である。パラメータは応力の有無で、応力を導入したほうには応力強度比 (応力の 28 日圧縮強度に対する

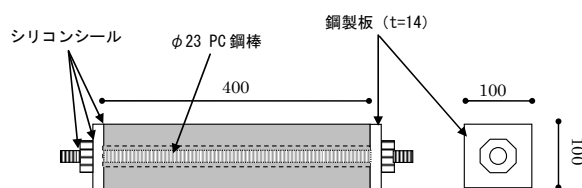


図-3.1 供試体概要

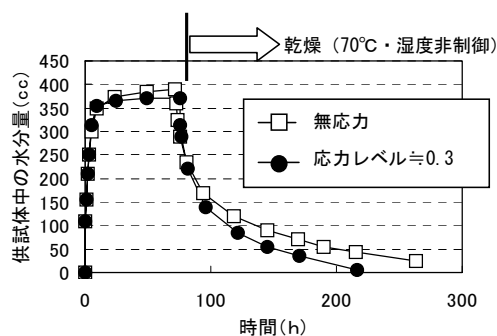


図-3.3 供試体中の水分量の経時変化 (浸水吸水試験)

比) 0.3 をポストテンション方式により油圧ジャッキを用いて導入した。供試体概要を図-3.1に示す。実験は供試体を完全に浸水させ、端面を除く4面からの吸水量の経時変化を測定するものである。

3.1.1 結果

図-3.3に結果を示す。応力を導入したほうが、飽和に至りやすく乾燥しやすいという結果を得た。また、総吸水量は応力を導入した供試体のほうが約20cc多くなった。これは、圧縮により総細孔容積が小さくなったことを示唆している。

3.2 表面吸水試験

供試体は 3.1 浸水吸水試験と同様である。パラメータは応力強度比の大きさであり、0, 0.1, 0.2, 0.4 および 0.6 のものを用意した。実験は供試体表面一面の限られた面積 (今回は約 50cm²) から吸水させ、その吸水量の経時変化を測定した。

3.2.2 結果

吸水量の経時変化（24時間）を図-3.5に示す。吸水開始から6時間までは、吸水速度に顕著な差は見られない。この図を見る限りでは圧縮の持つ吸水特性への影響は軽微であるといえる。しかしながら、吸水開始6時間以降は時間変化に対する吸水量変化が定常となっており、この傾きから吸水速度を計算し、応力レベルとの関係を見ると図-3.6のようになる。

わずかではあるが、応力レベル 0.2 までに吸水性が低下し、それ以降は上昇に転じている傾向が見て取れる。この傾向は既往の研究成果にも一致するものである。これらより、圧縮応力がコンクリートの物質遮蔽性能へ及ぼす影響は軽微であるが、傾向として、わずかに物質遮蔽性能が向上した後には低下に転じるというものであることが明らかとなった。

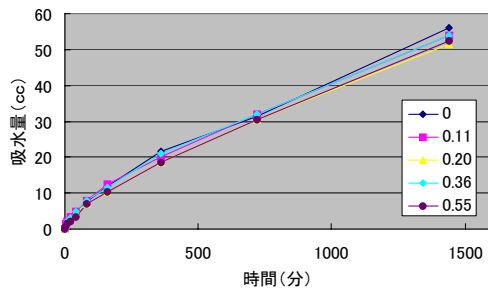


図-3.5 吸水量の経時変化（表面吸水試験）

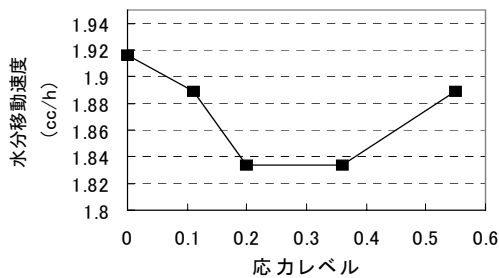


図-3.6 応力レベルと吸水開始360分以降の水分移動速度

4. 圧縮応力と拡散係数

4.1 実験概要

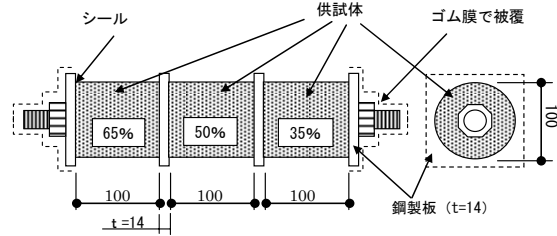


図-4.1 供試体概要

単位：mm

圧縮力がコンクリートの塩化物イオン拡散係数へ及ぼす影響について、一般的な傾向を明らかにすべく、より広範囲な W/C と応力レベルをパラメータとした供試体を作成し、塩水断続噴霧暴露試験（促進試験）を行った。供試体は $\phi 10 \times 10$ cm の円柱コンクリート供試体。パラメータとなる W/C は 35, 50 および 65% の 3 水準とし、応力レベルは応力強度比 0~0.8 のものを用意した。供試体概要を図-4.1 に示す。実験は 60 日間、3% 塩水 (Cl⁻) が断続的に噴霧される環境に供試体を暴露し、塩化物イオンを浸透させる。暴露後、供試体の塩化物イオン濃度分布を測定し、拡散係数を算出した。

4.2 結果

図-4.2 に可溶性塩化物イオン濃度分布を支示す。図からは、塩化物イオン拡散に対する W/C の影響はみてとれるが、圧縮応力の影響は見えて取れない。すなわち、マクロ

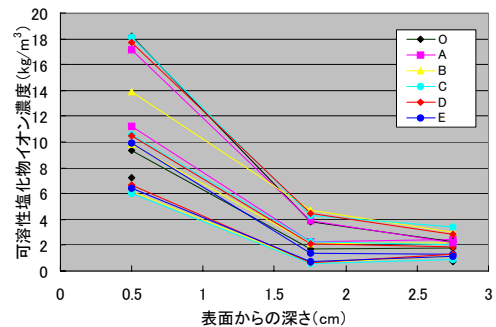


図-4.2 可溶性塩化物イオン濃度分布

的に圧縮応力の拡散係数への影響は、W/Cの影響と比較して著しく小さいことが確認できる。次に、実測した塩化物イオン濃度分布から算出した各 W/C の平均拡散係数表-4.1に示した。また、参考のため、示方書式により算出した拡散係数も合わせて表記している。応力レベルと拡散係数の関係を図-4.3に示す。拡散係数はフィックの第2法則の解析解（次式）を用いて求めた。

$$C(x,t) = Co \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right)$$

表-4.1 示方書式・本実験による拡散係数

W/C	拡散係数 (cm ² /年)	
	本実験	示方書式
0.35	0.88	0.35
0.5	2.97	1.33
0.65	9.87	3.41

図-4.2を見ると、コンクリートの拡散係数変化の圧縮応力に対する感度がW/C毎に異なっていることがわかる。W/C=35%の場合はあらゆる応力レベルにおいて変化は見られず、感度は極めて低い。W/C=50%の場合はW/C=35%の場合よりは感度が上がったと思われるが、傾向として現れるほどのものではなく、影響はないと言える。ところが、W/C=65%の場合には、明らかに拡散係数が上昇する傾向が得られている。これは貧配合コンクリートに大きな圧縮が作用した場合、組織の微視的な破壊が物質透過抵抗性を低下させたことが要因と考えられる。

これらのことから、コンクリートの拡散係数に及ぼす圧縮応力の影響に関して、そのW/Cについてはその配合が、ミクロに影響を及ぼすものと考えられる。なぜならば、これらのファクターは微視的構造に支配的な影響力を有しているためである。

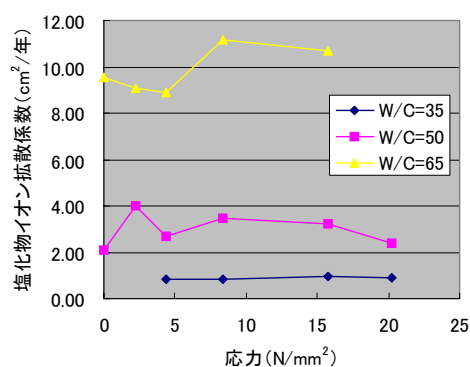


図-4.2 応力と拡散係数

5. 統一的な説明

本実験を含めた、すべての既往の実験結果を統一的に説明する。ペースト部分においては確かに圧縮による圧密作用により物質透過抵抗性が向上していると考えのが妥当である。すなわち、既往の研究において、圧縮の影響がペーストに顕著で、コンクリートに顕著でないことの説明として、コンクリートは単位体積あたりの骨材量がペーストと比較して圧倒的に多いために圧縮に鈍感になるのである。さらに、コンクリートにおいて発生するボンドクラックが物質透過抵抗性を低下させているとすると、貧配合コンクリートにおいて圧縮による物質透過抵抗性の低下の説明ともなる。

しかし、引張側を含めた全ての現象を説明するには至らなかった。

6. 結論

圧縮によるコンクリートの物質透過抵抗性への影響は一般にほとんどなく、その工学的有用性は低いことが明らかとなった。また、持続応力状態とコンクリートの物質透過抵抗性を説明するには、微視的構造の観点に立つことが有効である。