

液体中におけるコンクリートの静的圧縮強度低下に関するエネルギー的考察

九州大学大学院 学生会員 濱本真吾

九州大学大学院 フェロー 松下博通

九州大学大学院 正会員 濱田秀則

宮崎大学 正会員 尾上幸造

1. はじめに

一般に湿潤状態のコンクリートの圧縮強度は、乾燥状態のものとは比べて 10～20%低下する。この強度低下メカニズムとして諸説あるが、未だ解明されていない。本論文では、内部微細ひび割れの発生・伝播過程に及ぼす表面エネルギーの影響についてより詳細に検討することを目的として、気中および異なる 3 種類の液体中にて、静的繰返し載荷試験を行い、測定したひずみを用い、コンクリートの静的圧縮破壊過程についてエネルギー的観点から考察した。

2. 実験概要

2.1 供試体

表-1 に使用材料および浸漬溶液の種類（表面張力）を、表-2 に配合を示す。化学混和剤には、リグニンスルホン酸系の AE 減水剤およびアルキルアリルスルホン酸系の空気連行剤を使用し、スランプ 10cm、空気量 4.5%となるよう混入量を調整した。供試体の形状寸法は $\phi 75 \times 150\text{mm}$ の円柱とした。

コンクリートは打設後 24 時間で脱型し、28 日間 20°C の水中にて標準養生を行った。その後、28 日間の湿空養生（室温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 95%以上）、炉乾燥（ 40°C で 3 日間、 60°C で 4 日間、 90°C で 7 日間、 110°C で 14 日間以上）を経て、室温まで冷却後、質量が安定するまで各液体に浸漬させた。また、気中試験については、液体の表面張力を 0dyn/cm と仮定した。

2.2 試験方法

(1) 静的繰返し載荷試験および各種エネルギーの定量化

圧縮強度試験の応力-ひずみ曲線から繰返し載荷時の上限応力を設定する。上限応力は、圧縮強度試験における最大応力時のひずみ ε_c の 30, 50, 65%に対応する応力および、最大応力の 90%の応力とし、下限応力は 0N/mm^2 とした完全片振り載荷を 10 サイクル行った。これにより得られる応力-ひずみ曲線から各種エネルギーを算出した。図-1 に載荷除荷曲線と各エネルギーの関係を示す。各領域の面積を求め、その値に供試体の体積を乗じたものをそれぞれのエネルギー量とした。

(2) 載荷試験後の供試体における超音波伝播速度の測定

載荷により供試体内部に導入された微細ひび割れを相対的に評価することを目的として超音波伝播速度を測定した。測定は、2 深触子を用いる対称法により、載荷軸に対して直角方向において行った。

3. 実験結果

図-2 に圧縮強度試験による応力-ひずみ曲線を示す。供試体内部を満たす溶液の表面張力が大きいものほど強度低下が見られる。

図-3 に 10 サイクル繰返し載荷試験における損失エネルギー E_i の変化の例を示す。損失エネルギー E_i は初回載荷時に最も大きく、その後は大幅に減少し、5 回目以降はほぼ一定値に収束する。この

表-1 使用材料および浸漬溶液

セメント (C)	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm^3)
細骨材 (S)	海砂 (密度: 2.56g/cm^3 , 吸水率: 1.32%)
粗骨材 (G)	碎石 2005 (密度: 2.89g/cm^3 , 吸水率: 1.15%)
浸漬溶液	AE 剤 10 倍希釈溶液 (34.6dyn/cm) 精製水 (72.8dyn/cm), 食塩水 (78.9dyn/cm)

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				空気量 (%)	スランプ (cm)
		W	C	S	G		
55%	45%	175	318	783	1080	4.5	10

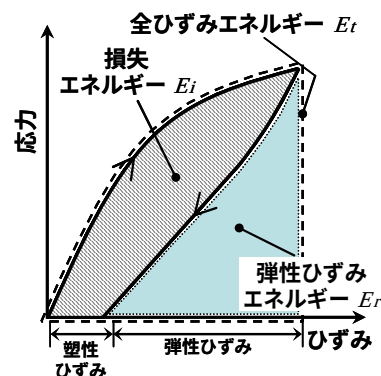


図-1 載荷除荷曲線と各エネルギーの関係

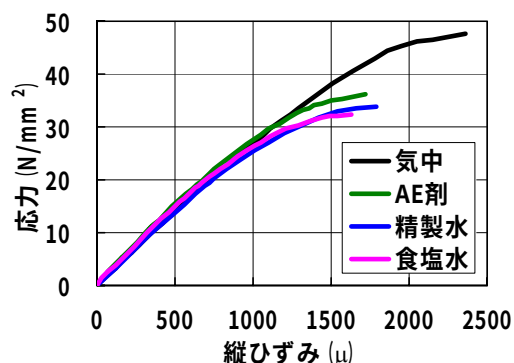


図-2 圧縮強度試験による応力-ひずみ曲線

傾向は、供試体内部を満たす溶液によらず同様に見られた。この一定値に収束した損失エネルギーのほとんどは、初期に発生した微細ひび割れの開閉の際の摩擦による熱エネルギーと考えられ、本論文では、収束したエネルギーを摩擦損失エネルギー E_{fric} と定義する。初回载荷時にも同様に摩擦損失が発生しているものと仮定すれば、初回の損失エネルギー E_{i1} から摩擦損失エネルギー E_{fric} を差し引くことで、ひび割れ進展エネルギー E_{crac} を算定する。本論文では、このひび割れ進展エネルギーに着目し検討を行った。

まず、ひずみ比とひび割れ進展エネルギーの関係を図-4に示す。ひずみ比とは、繰返し载荷において初回载荷時の最大ひずみ ε_1 と、静的载荷試験における最大応力時のひずみ ε_c の比である。ひび割れ進展エネルギーとひずみ比の間には累乗関係が成立し、ひずみ比の増大とともにひび割れ進展エネルギーも増大している。

続いて、浸漬溶液の表面張力とひび割れ進展エネルギーの関係を図-5に示す。ひずみ比が1.0の値は図-4の近似曲線から推定した値である。図より、同一ひずみ比の場合、浸漬溶液の表面張力が大きくなるにつれ、ひび割れ進展エネルギーは直線的に低下することがわかる。ひび割れ進展エネルギー $E_{crac}[N \cdot m]$ は、微細ひび割れを形成するために必要なエネルギー $E_c[N/m]$ と微細ひび割れの総表面積 $A_c[m^2]$ の積($E_{crac}=E_c \times A_c$)であると考えられる。よって、図-5に示される結果は、コンクリート内部空隙に存在する液体の表面張力が大きいほど、微細ひび割れの形成に必要な表面エネルギー、もしくは微細ひび割れの総表面積が減少することを示していると考えられる。

最後に、ひずみ比と载荷試験後の超音波伝播速度の関係を図-6に示す。データに多少ばらつきはあるものの、同一ひずみ比であれば、浸漬液体によらず超音波伝播速度はほぼ同等である。このことから、ひずみ比が同程度、つまり試験条件におけるピーク時に対するダメージの度合いが同程度であれば、供試体内部に発生する微細ひび割れ量 A_c は同程度である可能性が高い。

したがって、図-5に示したようにひび割れ進展エネルギーが浸漬溶液の表面張力の増大とともに直線的に低下するという事は、湿潤状態においてはコンクリートの静的圧縮破壊に至る微細ひび割れが、乾燥状態と比較して、少ないエネルギー量で形成されることを意味し、その結果、圧縮強度の低下につながるものと考えられる。

4. まとめ

- (1) ひび割れ進展エネルギーは、浸漬溶液の表面張力の増大とともに直線的に低下する。
- (2) 湿潤状態のコンクリートでは、乾燥状態のものに比べて少ないエネルギー量で微細ひび割れが形成され、圧縮強度が低下すると考えられる。

謝辞：本研究を実施するにあたり、科学研究費補助金基盤研究(B)(研究代表者 九州大学 松下博通、課題番号：19360196)の助成を受けました。ここに深く御礼申し上げます。

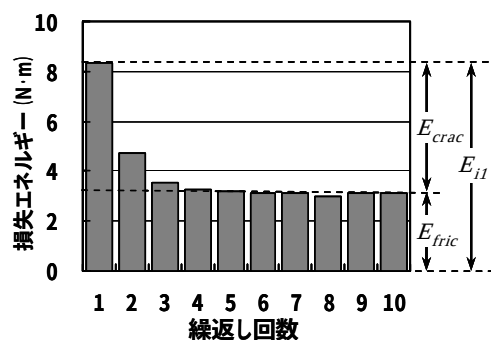


図-3 損失エネルギー E_i の変化

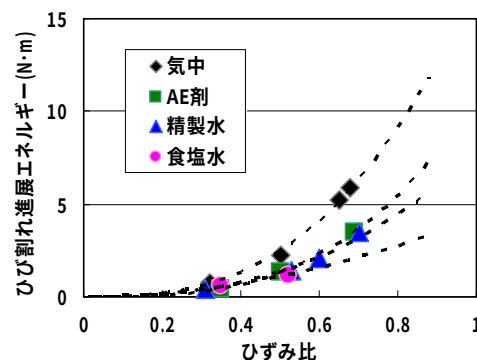


図-4 ひずみ比と E_{crac} の関係

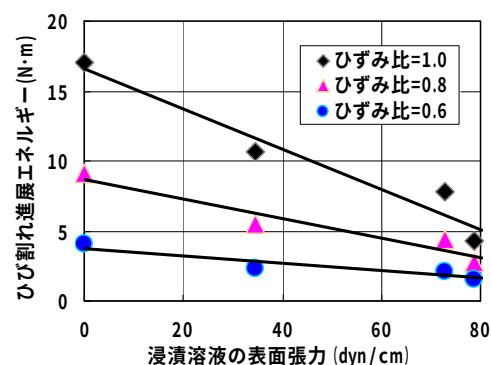


図-5 浸漬溶液の表面張力と E_{crac} の関係

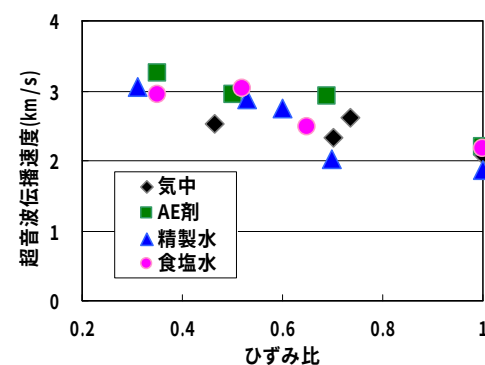


図-6 ひずみ比と超音波伝播速度の関係