

未水和セメントによる初期ひび割れ修復の可能性に関する検討

九州大学大学院 学生会員 清崎 里恵 フェロー 松下 博通
正会員 鶴田 浩章 正会員 陶 佳宏
新日鐵高炉セメント(株) 正会員 近田 孝夫

1. はじめに

コンクリートの硬化過程における型枠の移動や沈降収縮、凝結収縮によって生じる初期ひび割れは、耐久性の低下を促進させる一要因として挙げられている。そこで、本研究では、硬化過程でコンクリート内部に存在する多数の未水和セメントに注目し、この未水和セメント粒子が、初期ひび割れ部分で新たに水和反応を起こす事で、初期ひび割れ修復に伴う強度回復が可能となるのか否かを、養生期間、セメントの種類を変化させ検討した。

2. 実験概要

本研究で用いたモルタル供試体は、JIS R 5201 に準じ、水セメント比 0.5 とし、セメントには、普通、早強、低熱ポルトランドセメントを、細骨材には標準砂を使用した。

図-1 のような角柱供試体を作製し、初期養生した供試体の中央部に、ひび割れ位置を限定するための切欠きを 1 cm 入れ、荷重速度を小さくした高剛性の試験装置を使用して、ひび割れ開口変位 (CMOD) を制御した 3 点曲げ試験を行った。この際、CMOD はクリップゲージにより計測した。図-2 に示すように、1 回目の試験では、最大荷重を越え、CMOD が最大荷重時の値より 0.01 mm 大きくなった時点で除荷した(第一載荷)。その後、第二養生期間をおき、再度 3 点曲げ試験を行った(第二載荷)。載荷材齢の組合せは表-1 に示すとおりである。なお、養生方法は、全て水中養生とした。この時の CMOD と荷重の関係から、第二載荷最大荷重を比較して初期ひび割れ修復の可能性を確認した。なお、第一、第二載荷材齢は、打設日からの材齢としている。

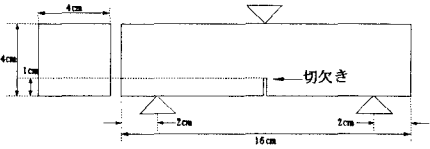


図-1. 供試体形状

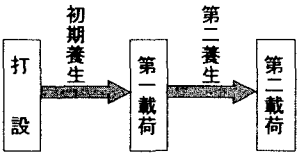


図-2. 実験の流れ

表-1. 載荷材齢の組合せと表記

		第一載荷材齢(初期養生)			
		1日	3日	7日	28日
第二載荷材齢	1日	1-1			
	3日	1-3	3-3		
	7日	1-7	3-7	7-7	
	28日	1-28	3-28	7-28	28-28

3. 試験結果および考察

3-1. 養生期間による影響

図-3 に、第一載荷材齢が 1,3,7,28 日、第二載荷材齢が 28 日の荷重と CMOD の関係を示す。ここで図-3 の結果に関して、本実験結果ではグラフを見やすくするため、除荷によって回復される CMOD を無視している。

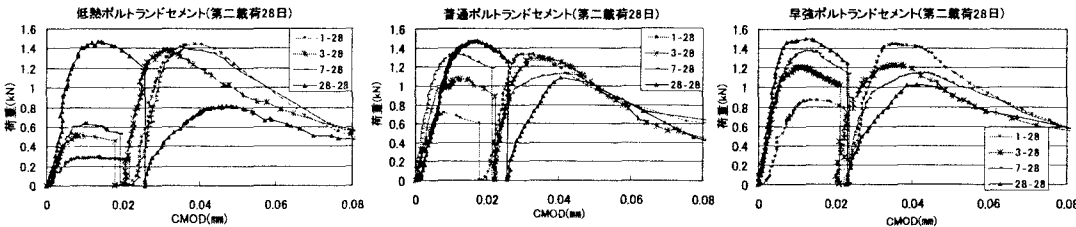


図-3. 第二載荷材齢が 28 日となる供試体の荷重-CMOD 曲線

一般的に、曲げ強度試験では、最大荷重を超えて荷重が減少した時点で除荷し、再度載荷しても除荷時の荷重までは到達しない(図-3: 28-28)。これは、供試体内部における微細ひび割れ群が破壊進行領域を形成するため、応力の伝達力が減少する傾向と考えられる。しかし、第二養生期間をおくと、除荷時の荷重を超え、(28-28)の結果と比較しても第二載荷時の最大荷重が増加していることが分かる。また、各セメントにおいて、第二養生期間が長ければ長いほど、第二載荷時における最大荷重が大きく、28日強度に近づいている。この強度増加には、材齢に伴う強度発現と、微細ひび割れ部分に浸透した水分が関与しているものと考えられる。つまり、微細ひび割れの発生により、供試体内部に存在する未水和セメント粒子が露呈され、この未水和セメント粒子が新たに水和することによる強度回復・増加がなされたものと考えられる。

3-2. セメントの種類による影響

次に、材齢に伴い発現する強度を除き、未水和セメントが新たに水和することによる強度増加量を比較するために、各セメントの強度回復率を図-4に示す。ここで、強度回復率とは、第二養生期間を有した供試体の第二載荷時最大荷重と、第二養生期間が無く、第一、第二載荷材齢が同一な供試体の第二載荷時最大荷重の比率を取ったものである。

第二養生期間を設けた供試体は、全て強度回復率が1を越え、材齢による強度回復以外に、ひび割れ部分における未水和セメント粒子の水和によって強度が回復していることがわかる。また、この強度回復率の変動は、強度発現が遅い低熱ポルトランドセメントで顕著に表れている。つまり、水和の進行が遅いセメントほど、未水和セメント粒子が多く、ひび割れ部分においても水分が十分に補給されて水和が促進され、強度増加につながったものと考えられる。そのため、低熱ポルトランドセメントでは、材齢が1, 3日のものに関して、強度回復率が小さくなっている。ここで、低熱ポルトランドセメントのグラフは増加しているのに対して、普通、早強ポルトランドセメントに関しては、第二載荷材齢が7日以降で低下している。これは、低熱ポルトランドセメントの強度発現に対し、早強、普通ポルトランドセメントは強度発現が早く、第二載荷時最大荷重のうち、材齢に伴い発現した強度が占める割合に対して、初期ひび割れの修復によって増加した強度の占める割合が低下したためと考えられる。

4. まとめ

- 1) 初期ひび割れを有した状態で養生すると、ひび割れ部位に浸透する水分が未水和セメントを新たに水和させることで、初期ひび割れの修復が可能となる。
- 2) 初期ひび割れには、修復のために水和を促がす養生期間が長いほど、また、水和速度が遅いセメントほど強度回復に有効となる。

今後、初期ひび割れの修復に関与している未水和セメント粒子について詳細に検討を行い、また混合セメントなどを用いた場合の初期ひび割れ修復を考慮していく必要がある。

参考文献 1) 三橋博三: コンクリートの破壊力学の現状と展望、コンクリート工学、Vol.25、No.2、pp.5~17、1992

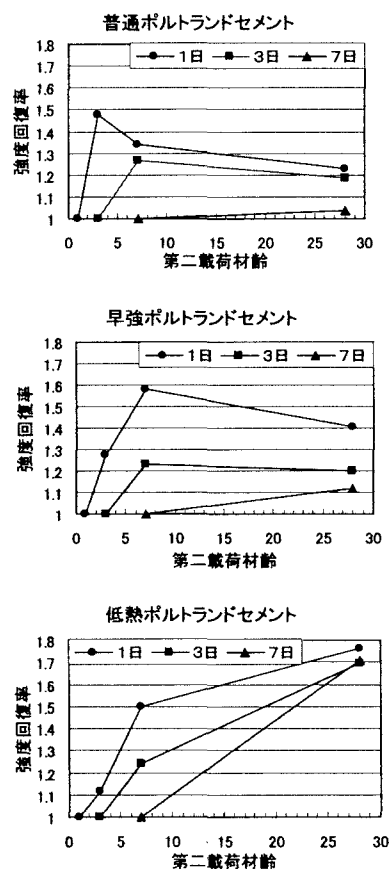


図-4. 各第一載荷材齢における強度回復率