

初期ひび割れを導入したコンクリートの強度回復特性に関する研究

○九州大学大学院 学生会員 清崎 里恵

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

陶 佳宏

1. はじめに

コンクリート構造物における初期欠陥は、耐久性能を著しく低下させる要因として挙げられている。その中でも、初期ひび割れは直接的な性能劣化に加え、その部分からの中酸化や塩害を引き起こすという危険性がある。そこで本研究では、初期ひび割れ先端部分における未水和セメントが水和反応を起こす事で、初期ひび割れによる性能低下を改善できるのではないかと考え、耐久性照査型設計法・ひび割れ照査の一指標と成り得る可能性を探ることを目的として、セメントの種類やひび割れ発生時期、養生期間を要因とした強度回復特性について検討した。

2. 実験概要

JIS R 5201 に準じ作製したモルタル供試体を所定の期間養生(初期養生)した後、ひび割れ箇所を限定するための切欠きを深さ 1 cm 導入し、直ちに、一度目の 3 点曲げ試験(第一載荷試験)を行い、荷重とひび割れ開口変位(CMOD)を測定した。この

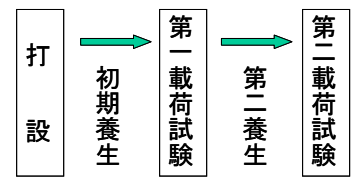


図-1 実験の手順

第一載荷試験では、荷重が最大荷重を超えて低下し、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、そ

の試験を終えた。その後、供試体を更に養生させ(第二養生)、再度 3 点曲げ試験(第二載荷試験)を行った(図-1)。なお、セメントには普通、早強、低熱ポルトランドセメントを使用し、養生方法は全て水中養生とした。ここで、

各載荷試験材齢は打設日からの材齢とし、その組合せを表-1 に示す。

3. 実験結果および考察

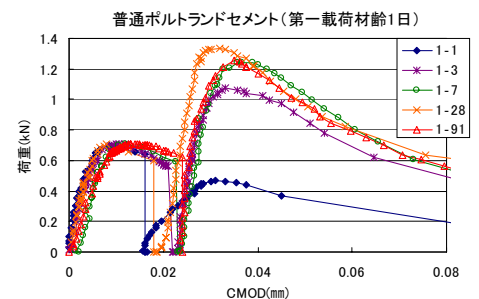
3-1. ひび割れ発生時期と回復期間

図-2 に第一載荷材齢が同一で第二載荷材齢を変化させた時の荷重-CMOD の関係を、また、図-3 に第二載荷材齢が 91 日で第一載荷材齢を変化させた時の荷重-CMOD の関係を示す。ここで、本結果ではグラフの明瞭化のため、除荷によって回復される CMOD を無視している。

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。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¹⁾。しかし、図-2 より第二養生期間を設ける事で第二載荷時最大荷重は除荷点よりも大幅に増加している事が確認できる。また、図-3 より、ひび割れ発生時期が早いほど、第二載荷時最大荷重は大きく、91 日強度(91-91 第一載荷時最大荷重)に近づいていることが確認できる。以上の結果から、初期ひび割れが発生していても、第二養生期間を設けることによって、強度が増加するという事が確認できる。

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	91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	
	91日	1-91	3-91	7-91	28-91	91-91



荷重-CMOD 曲線

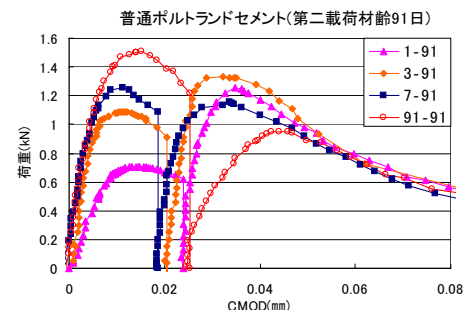


図-3 第二載荷材齢 91 日の荷重-CMOD 曲線

キーワード：初期ひび割れ、強度回復、未水和セメント

〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 Tel. 092-641-3131(内線 8654) Fax. 092-642-3271

これらの強度増加には、次の2つの要因が考えられる。まず一つ目に、材齢に伴う強度増加であり、図-2において顕著に表れている。これは、初期ひび割れという欠陥が発生していても、第二養生を行う事で健全部における強度発現が十分に成され、応力の伝達力低下を妨げたという事である。もう一つの要因として、初期ひび割れ近傍におけるセメントの水和が考えられる。つまり、硬化初期のコンクリート内部には多数の未水和セメントが存在しており、初期ひび割れが発生する事で、初期ひび割れ近傍における未水和セメントが露呈され、その水和に伴い強度が増加したと推測される。

3-2. セメントの種類による影響

図-4に各セメントにおける第二載荷材齢91日とした強度比の結果を示す。ここで、強度比とは、第二載荷時最大荷重を同一材齢の強度で除し百分率表示した値である。この結果より、早強ポルトランドセメントでは、養生期間が短くなるに連れて強度比が低下しているにも関わらず、低熱ポルトランドセメントでは、ほぼ一定でかつ高い強度比を保ち、セメントの種類による強度比の影響が確認できる。また、(91-91)から、水和速度の遅い低熱ポルトランドセメントでは、初期ひび割れが生じていても、強度低下が緩慢であることが分かった。

次に、図-5に早強・低熱ポルトランドセメントの強度回復率を示す。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との比率を取ったものである。これは、材齢に伴う強度発現を除いて、未水和セメントの水和に伴う強度発現量を確認するための値である。この結果から、初期ひび割れに関する強度回復には、低熱ポルトランドセメントの方が、内部の未水和セメントによる強度回復が成され、その回復量も大きいことが分かる。つまり、水和速度の遅いセメントほど、初期ひび割れ発生時において、内部に存在する未水和セメントも多く、第二養生期間を設ける事で、初期ひび割れ部分に十分な水分が供給されて未水和セメントの水和が進行し、強度回復につながったものと考えられる。ここで、各セメントにおいて、強度回復率が途中から低下しているが、その原因としては、第二載荷時最大荷重のうち、材齢に伴う強度増加が占める割合と、セメントの水和による強度回復が占める割合に差が生じたものと考えられる。それは本実験結果においては、91日強度を基準として、低熱ポルトランドセメントが材齢28日で9割の強度発現をするのに対し、早強ポルトランドセメントは材齢7日で約8割の強度発現となる事に起因するものである。

4. まとめ

- 1)初期ひび割れ発生時期が早いほど、また、初期ひび割れ発生後の養生期間が長いほど、強度回復に有効となる。
- 2)水和速度が遅いセメントほど強度回復度合いが大きく、その中でも初期ひび割れ近傍における未水和セメントの水和が促進された強度回復が見込まれる。
- 3)初期ひび割れの先端における未水和セメントによる強度回復は可能であり、その要因に関する回復特性が存在する。

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

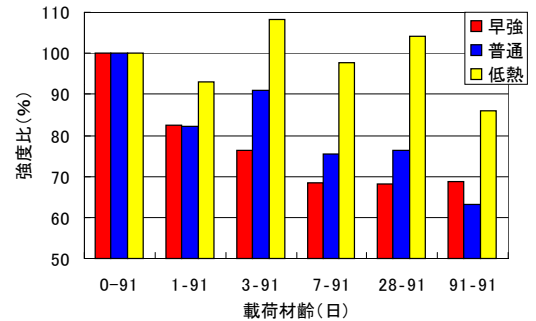


図-4 第二載荷材齢91日の強度比

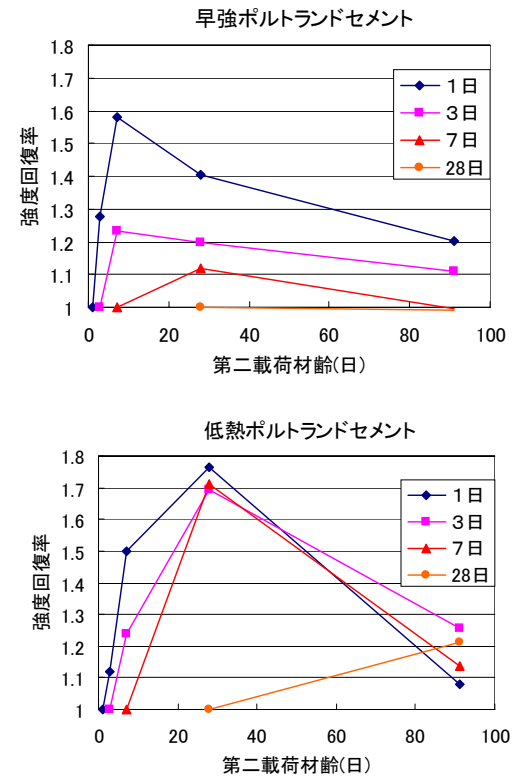


図-5 強度回復率