

V-548

超速硬セメントコンクリートの若材齢における圧縮疲労強度特性に関する研究

豊田工業高等専門学校 正会員 河野 伊知郎
 豊田工業高等専門学校 正会員 中嶋 清実
 小野田ケミコ(株) 正会員 湯浅 晃行
 名古屋工業大学 正会員 吉田 弥智

1. まえがき

近年、大型車の交通量の増加に伴って、舗装道路におけるコンクリート床版の損傷件数が増加しており、その維持管理のための補修工事から、損傷した床版の補強工事、さらに床版全体を打ち替えるような大規模な工事が多く報告されている。これらの工事のほとんどは交通遮断を伴う場合が多く、短時間に工事を完了し、早急に交通開放をしなければならない。そのため、超速硬セメントコンクリートが多く用いられているが、超速硬セメントコンクリートの若材齢における疲労強度特性に関する研究はほとんど行われていない。よって、本研究では超速硬セメントコンクリートおよび新たに開発された新タイプ超速硬セメントコンクリートを用いて強度発現過程における圧縮疲労強度特性に関する研究を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

表-1 コンクリートの配合

使用材料は、セメント： C社製新タイプ超速硬セ メントおよび超速硬セ メント、粗骨材：静岡県天 童川産の川砂利（比重	種類	スランプの 範囲 (cm)	水セメント 比 W/C(%)	細骨材 率 s/a(%)	単位量(kg/m³)				凝結遅 延剤 (g/m³)	高性能 減水剤 (cc/m³)	
					水	セメント	細骨材				粗骨材
							細砂	粗砂			
	NJ	18.0±2.0	34	40	135	400	551	138	1134	4000 4800	8000
	J		35	41	141	400	252	489	1090	1200	8000

使用材料は、セメント：C社製新タイプ超速硬セメントおよび超速硬セメント、粗骨材：静岡県天竜川産の川砂利（比重=2.66, FM=6.76, 粗骨材の最大寸法=25mm）、細骨材：岐阜県揖斐川産の粗砂（比重=2.60, FM=3.05）と三重県長良川産の細砂（比重=2.59, FM=2.18）を重量比6.6:3.4の割合で混合した混合砂、C社製セッターを新タイプ超速硬セメントコンクリート（以後、NJと略す）には単位セメント量に対して1.0～1.2%添加、超速硬セメントコンクリート（以後、Jと略す）には0.3%添加、高性能減水剤：K社製高性能減水剤（MT-150）をセメント量に対して2.0%添加、である。コンクリートの配合は試し練りにより決定した。所要のスランプを18.0±2.0cm、単位セメント量を400kg/m³とし、スランプ試験を行い、同じワーカビリティを得るために必要な単位水量および最適細骨材率を決定した。その配合を表-1に示す。また、表-2に各セメントの鉱物組成を示す。

表-2 セメントの鉱物組成

セメントの種類	鉱物組成 (%)						
	C ₄ A ₃ S	C ₁ , A ₇ , CaF ₂	CS	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
新タイプ超速硬セメント	23.2	—	13.7	23.1	24.1	4.3	6
超速硬セメント	—	20.6	17.3	50.4	1.7	—	4.7

セメントコンクリート（以後、NJと略す）には単位セメント量に対して1.0～1.2%添加、超速硬セメントコンクリート（以後、Jと略す）には0.3%添加、高性能減水剤：K社製高性能減水剤（MT-150）をセメント量に対して2.0%添加、である。コンクリートの配合は試し練りにより決定した。所要のスランプを18.0±2.0cm、単位セメント量を400kg/m³とし、スランプ試験を行い、同じワーカビリティを得るために必要な単位水量および最適細骨材率を決定した。その配合を表-1に示す。また、表-2に各セメントの鉱物組成を示す。

(2) 実験方法

実験には直径10cm、高さ20cmの円柱供試体を使用し、供試体の内部温度を測定するため温度測定用供試体の中心部に熱電対を埋め込んだ。また、疲労载荷中の供試体のひずみを測定するため、疲労载荷をかける供試体の側面にひずみゲージを縦方向2枚、横方向2枚、計4枚貼り付けた。コンクリートの練り混ぜは50lのパンタイプ強制練りミキサーを使用し、練り混ぜ時間は3分間とした。供試体は外気で打設してから圧縮強度が目標強度に達するまで+20℃の恒温恒湿室で保管した。目標強度は19.6, 39.2 N/mm² (200, 400kgf/cm²) の2種類である。次に、供試体が所定の目標強度付近に達した時の強度を初期強度とし、その初期強度を元に荷重レベルを設定し、疲労試験を開始した。この時、初期強度を測定してから疲労試験を開始するまで数分要するので、疲労試験開始時の強度（疲労開始強度）を圧縮強度と積算温度の関係より算定した。次に、所定の疲労試験終了後、疲労した供試体および同じ条件で放置した供試体の圧縮強度を測定した。これらの圧縮強度をそれぞれ残存強度

超速硬セメント、圧縮疲労強度、若材齢

〒471 愛知県豊田市栄生町2-1 TEL0565-35-4405 FAX 0565-35-0287

および比較強度とする。疲労試験に用いた波形はsin波で、振動数は10Hz、載荷回数は1万、10万、100万回の3種類で行った。応力レベルの上限値、下限値は初期強度の60%、15%および70%、15%の2種類である（以後、応力レベル60および応力レベル70と略す）。

3. 実験結果および考察 NJおよびJの圧縮強度と積算温度の関係は強度発現初期に急激に強度が増進する領域と、緩やかに増進する領域があり、NJは積算温度 $M=125^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 付近、Jは $M=110^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 付近で変曲点を生じている。この関係を変曲点で分け、2つの関係式で近似すると次式ようになる。

$$\begin{aligned} \text{NJ: } M < 125: f_c' &= -67.87 + 52.22 \log M & M: \text{積算温度 } (^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}) \\ M > 125: f_c' &= +13.31 + 13.05 \log M & f_c': \text{圧縮強度 } (\text{N}/\text{mm}^2) \\ \text{J: } M < 110: f_c' &= -72.75 + 52.39 \log M \\ M > 110: f_c' &= -18.8 + 25.9 \log M \end{aligned}$$

表-3は応力レベル60および70の疲労試験開始時の応力レベルを示した表である。この表の上限値、下限値が目標の応力レベルの60%、15%および70%、15%になっていないものがあるのは初期強度を測定してから実際に疲労試験を開始するまでに多少の時間がかかるためであり、この間に強度が発現しているためである。なお、この表の基準となる疲労試験開始時の圧縮強度（疲労開始強度）は先に示した関係式より求めた。

図-1、2は応力レベル60および70の圧縮強度比と疲労開始強度の関係を表した図である。図中のNJ、Jはセメントの種類、その後の60、70は応力レベルを表している。図-1を見てみると、応力レベル60の1万回では、載荷回数が少ないこともあり、セメントの種類に関わらず残存強度と比較強度に大きな差はみられず、疲労による影響はあまりないといえる。10万回についてはNJ、J共に疲労を受けた供試体の方が疲労を受けていない供試体よりも高い圧縮強度が認められた。100万回においては、さらに高い圧縮強度比が得られた。図-2の応力レベル70ではこの傾向がさらに顕著となっている。

図-3はNJの内部温度の変化を示したものである。載荷条件は目標強度 $19.6 \text{ N}/\text{mm}^2$ 、応力レベル70、載荷回数100万回である。なお、疲労用供試体および比較用供試体の側面には外気からの影響を防ぐため、断熱材で覆った。この図より、打設直後はどちらの供試体も水和反応により急激に内部温度が上昇し、その後、時間の経過とともに低下している。打設後8時間経過した頃から、疲労用供試体の内部温度が比較用供試体よりも5℃程度高い値を示しており、最終的なマチュリティーは疲労用供試体が $762^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 、比較用供試体が $700^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ となった。この温度差が残存強度の増加に影響している一要因と考えられる。

4. まとめ NJおよびJ共に疲労を受けた供試体の方が疲労を受けない供試体よりも高い圧縮強度が得られた。この原因としては、繰り返し荷重が作用することにより、供試体内部の比較的大きな孔が破壊され密な構造になったことや、疲労を受けることにより内部温度が上昇したためと考えられる。

表-3 応力レベルの上下限値

種類	目標強度 (N/mm^2)	応力レベル60		応力レベル70	
		上限値の 平均(%)	下限値の 平均(%)	上限値の 平均(%)	下限値の 平均(%)
NJ	19.6	4.9	1.2	5.7	1.3
	39.2	5.9	1.5	6.7	1.5
J	19.6	5.1	1.3	6.1	1.3
	39.2	6.0	1.5	6.9	1.5

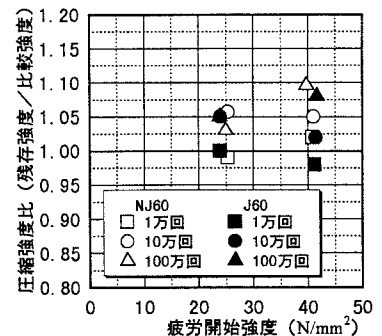


図-1 圧縮強度比と疲労開始強度の関係（応力レベル60）

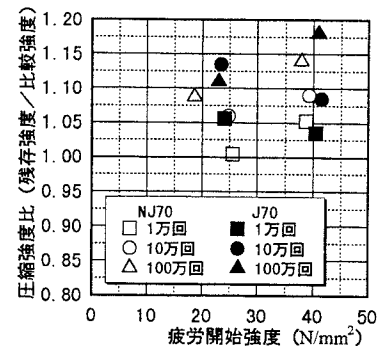


図-2 圧縮強度比と疲労開始強度の関係（応力レベル70）

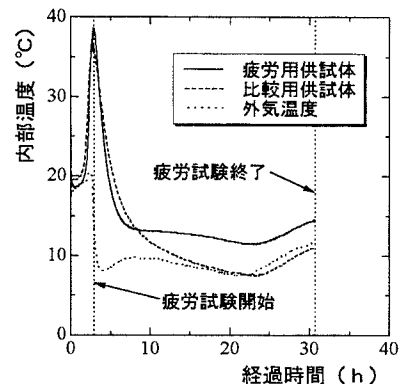


図-3 経過時間と内部温度の関係