

強度発現過程における超速硬コンクリートの圧縮疲労強度特性

豊田工業高等専門学校 学生員 足立 一馬
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

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、早急に交通解放をしなければならない。よって、超速硬セメントコンクリートが頻繁に用いられるが、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、本研究では強度発現過程の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 使用材料は、セメント：O社製超速硬セメント、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、O社製セッターを単位セメント量に対して1.2%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。

超速硬コンクリートの配合は
試し練りより決定した。所要のスランブを18.0±2.0cm、単位セメント量を400kg/m³とし、スランブ試験を行い、同じワーカ

表-1 コンクリートの配合

スランブ 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			
18.0±2.0	35	41	141	400	252	489	1090	1200	8000

ビリティー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。

(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伝対を埋め込んだ。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10.2, 20.4, 40.8, 51.0 MPa (100, 200, 400, 500kgf/cm²) の4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, 10, 100万回の3種類で行った。荷重レベルの上限値, 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、これらの応力レベルを応力レベル60および70と略す。また、繰返し荷重が作用することにより供試体内部の細孔径分布がどのように変化するかを調べるためにモルタル供試体を用いた圧縮疲労試験も行った。

3. 実験結果および考察 図-1は超速硬セメントコンクリートの圧縮強度と積算温度の関係である。図より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存在し、積算温度M=70℃・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下式のようなになる。

$M < 70 : \sigma = -116.8 + 79.5 \log M$ M : 積算温度 (℃・h)
 $M > 70 : \sigma = -21.9 + 28.2 \log M$ σ : 圧縮強度 (MPa)

表-2, 3は応力レベル60, 70の疲労試験開始時の荷重レベルを示した表である。この表の上限値, 下限値が15%, 60%および15%, 70%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は先に示した関係式より求めた。

図-2, 3は応力レベル60, 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。まず、図-2の応力レベル60の1万回では載荷回数が少ないので残存強度と比較強度に大きな差がみられず、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、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5%ほど高い圧縮強度が認められた。100万回については、この傾向がさらに顕著となり、10%ほど高い強度が得られた。

図-3の応力レベル70については応力レベル60の傾向がさらに顕著に現れた。これらの実験結果より、疲労回数が増えるにつれて疲労を受けた供試体の方が疲

勞を受けていない供試体よりも高い圧縮強度が得られることがわかった。次に、図-4は細孔直径と細孔容積および累積細孔容積の関係を示したものである。実験にはモルタル供試体を用い、応力レベルの上限値, 下限値を70%, 15%、目標強度を20.4MPa、載荷回数を100万回とした。この図より疲労を受けた供試体の方が、そうでない供試体より

も、孔の直径が $0.2 \sim 0.9 \mu\text{m}$ の範囲で減少し、それよりも細かい $0.05 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の範囲で増加しているのがわかる。これは、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になったためと考えられる。

4. まとめ 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圧縮強度が高くなった理由としては以下のようなことが考えられる。

①超速硬コンクリートは初期にカルシウムフルオロアルミネート ($\text{C}_{11}\text{A}_7 \cdot \text{CaF}_2$) が水和し、エトリンガイトの粗な水和物を生成するが、繰り返し荷重が作用することにより水和物の緻密な構造が生成されるため。

②疲労載荷により内部温度が上昇するために強度発現が早まるため。

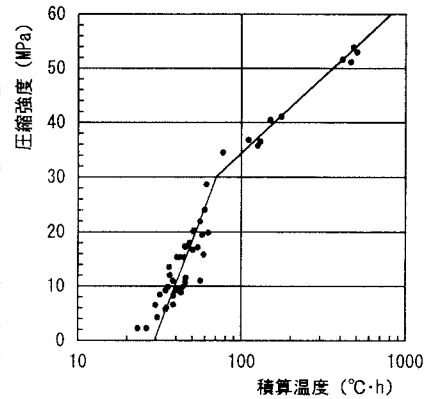


図-1 圧縮強度と積算温度の関係

表-2 荷重レベル60の上下限値

目標強度 (MPa)	上限値の平均 (%)	下限値の平均 (%)
10.2	3.8	1.0
20.4	5.2	1.3
40.8	6.0	1.5
51.0	6.0	1.5

表-3 荷重レベル70の上下限値

目標強度 (MPa)	上限値の平均 (%)	下限値の平均 (%)
10.2	4.8	1.0
20.4	6.3	1.4
40.8	6.9	1.5
51.0	—	—

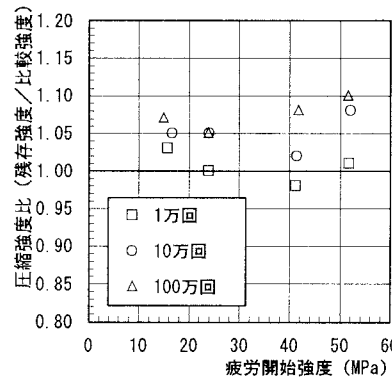


図-2 圧縮強度比と疲労開始強度の関係 (応力レベル60)

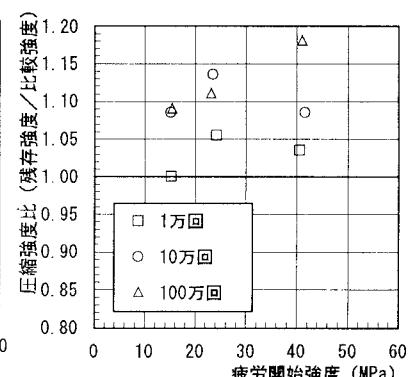


図-3 圧縮強度比と疲労開始強度の関係 (応力レベル70)

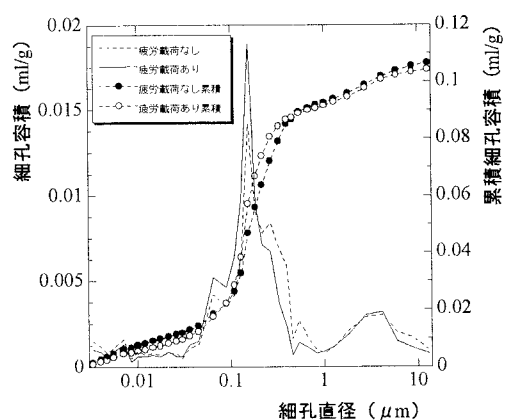


図-4 細孔直径、細孔容積および累積細孔容積の関係