

強度発現過程における超速硬セメント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 岡田 行雄
 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

超速硬コンクリートは早期に強度が発現するため、道路橋などの補修工事などに多く用いられている。このような場合、超速硬コンクリートは若材齢で、圧縮、せん断、曲げなどの疲労を受けることになり、その後の強度にどのような影響を及ぼすかをすることは重要なことである。しかし最近になり新しいタイプの超速硬セメントが開発され、従来の超速硬セメントに代わり使用されようとしている。よって本研究では、新タイプ超速硬セメントコンクリートの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。また比較のために超速硬セメントコンクリートの場合の

同一条件での実験も行い比較検討を行った。

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：C社製超速硬セメントおよび新タイプ超速硬セメント、また、表-1にセメントの鉱物組成を示す。

新タイプ超速硬セメントはアーウィンクリンカー(C_4A_3S)を、超速硬セメントはカルシウムフルオロアルミネイト($C_{11}A_7CaF_2$)を含むのが特徴となっている。粗骨材：静岡県天竜

表-1 セメントの鉱物組成

セメントの種類	鉱物組成 (%)						
	C_4A_3S	$C_{11}A_7CaF_2$	CS	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
新タイプ超速硬セメント	23.2	-----	13.7	23.1	24.1	4.3	6.0
超速硬セメント	-----	20.6	17.3	50.4	1.7	---	4.7

表-2 コンクリートの配合

セメントの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						
			水 W	セメント C	粗砂 S1	細砂 S2	粗骨材 G	高性能減水剤	凝結遅延材
新タイプ超速硬セメント	33.8	40.0	135	400	551	138	1134	8	2.0±2.0
超速硬セメント	35.2	41.0	141	400	489	252	1090	8	2.4±2.4

川産の川砂利(比重=2.65, FM=2.64, 最大寸法=25mm)、細骨材：岐阜県揖斐川産の粗砂(比重=2.60, FM=1.78)と三重県長良川産の細砂(比重=2.57, FM=3.03)を重量比7.25:2.75の割合で混合した混合砂、混和剤：高性能減水剤は、両コンクリートともにK社製高性能減水剤(MT-150)をセメント量の2.0%とし、凝結遅延剤は新タイプ超速硬セメントコンクリートにはC社製凝結遅延剤とヘプトン酸ソーダを各々セメント量の0.5%または0.6%、合わせて1.0%または1.2%添加し、超速硬セメントコンクリートにはC社製凝結遅延剤のみをセメント量の0.3%添加した。配合は試し練りより決定した。所要スランブを 18.0 ± 2.0 cm、単位セメント量を 400kg/m^3 としてスランブ試験を行い、同じワーカビリティを得るために必要な単位水量、最適細骨材率および凝結遅延剤の添加量を決定した。その配合を表-2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電対を埋め込んだ。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℃の恒温恒湿室で湿空養生を行った。目標強度は $19.6, 39.2\text{N/mm}^2$ ($200, 400\text{kg/cm}^2$)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、その初期強度をもと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若干の時間を要するので、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。これらの強度をそれぞれ残存強度および比較強度とする。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、疲労載荷中の内部温度変化の測定は、外気温の影響を避けるために、断熱材でそれぞれの供試体を覆い測定した。

3. 実験結果および考察

図-1に超速硬セメントコンクリート、図-2に新タイプ超速硬セメントコンクリートの積算温度と圧縮強度の関係を示す。これらの図より、どちらの超速硬セメントコンクリートも強度発現初期に急激に強度が増進する

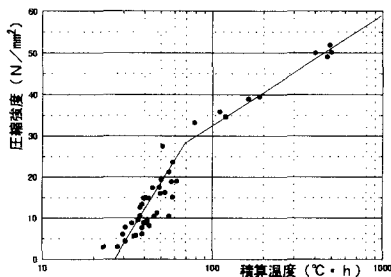


図-1 超速硬セメントコンクリートの積算温度と圧縮強度の関係

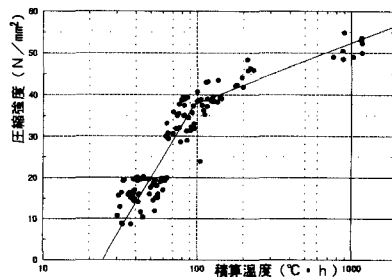


図-2 新タイプ超速硬セメントコンクリートの積算温度と圧縮強度の関係

る領域と、穏やかに強度が増進する領域が存在することがわかる。超速硬セメントコンクリートでは積算温度 $M=70^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 付近、新タイプ超速硬セメントコンクリートでは $M=95^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ 付近で変曲点が生じる。この関係を変曲点で分け、それぞれ2つの関係式で近似すると超速硬セメントコンクリートでは(1)、(2)式、新タイプ超速硬セメントコンクリートでは(3)、(4)式となる。

$$M < 70: \sigma = -112.1 + 76.3 \log M \quad (1) \quad M > 70: \sigma = -21.0 + 27.1 \log M \quad (2)$$

$$M < 95: \sigma = -71.95 + 54.5 \log M \quad (3) \quad M > 95: \sigma = 8.43 + 14.5 \log M \quad (4)$$

M : 積算温度($^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$) σ : 圧縮強度(N/mm^2)

表-3は応力レベル70の疲労試験開始時の荷重レベルを示した表である。この表の応力レベルのずれ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-3、4は応力レベル60, 70での新タイプ超速硬セメントコンクリートおよび超速硬セメントコンクリートの10、100万回の圧縮強度比と初期強度との関係を表したものであり、圧縮強度比が1.00以上ならば疲労試験を受けた供試体の方が放置しておいた供試体よりも強度発現が大きいことを示す。また、図中のJは超速硬セメントコンクリート、NJは新タイプ超速硬セメントコンクリートを示す。図-3に示す10万回の疲労試験では、応力レベル60においては5%程度、応力レベル70では8%程度、残存強度が高くなる傾向が見られる。図-4に示す100万回においては10万回での傾向がより顕著に現れた。これらの実験より、疲労回数が多いほど、また応力レベルが高い方が圧縮強度比が高くなる傾向を示している。しかし、全体的に新タイプ超速硬セメントコンクリートの方が超速硬セメントコンクリートに比べて圧縮強度比が小さいことがわかる。超速硬セメントコンクリートおよび新タイプ超速硬セメントコンクリートの残存強度が高くなる原因としては、疲労载荷によって供試体内部の孔の状態に変化が起き、大きな孔が破壊されて密になることと、疲労により供試体の内部温度が上昇しそのために強度発現が早まることが考えられる。

表-3 荷重レベル70の上下限値

コンクリートの種類	目標強度 (N/mm^2)	上限値(%)	下限値(%)
超速硬セメントコンクリート	19.2	61.2	13.1
	39.2	69.4	14.9
新タイプ超速硬セメントコンクリート	19.6	58.7	12.9
	39.2	69.2	14.8

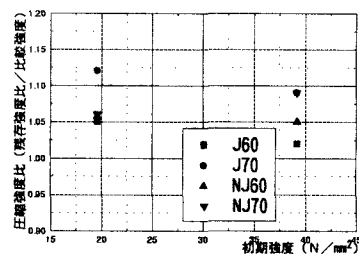


図-3 疲労回数10万回での圧縮強度比と初期強度の関係

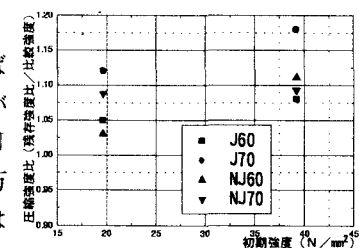


図-4 疲労回数100万回での圧縮強度比と初期強度の関係

4. 結論 以下に本研究より得られた結論を示す。1) どちらの超速硬セメントコンクリートにも変曲点があり、2つの式より近似すると高い相関が得られた。2) 今回行った圧縮疲労試験の荷重レベルの条件下では、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上回る傾向が見られた。3) 2)の原因としては、疲労载荷による供試体内部の孔の変化、供試体の内部温度の上昇が考えられる。