

報告

[1001] 明石海峡大橋 4 A アンカレイジにおける高流動コンクリートの品質

有馬 勇*1・竹口昌弘*2・櫻井重英*3・林 順三*4

1. はじめに

明石海峡大橋 4 A アンカレイジはコンクリート総量が約24万 m³ (基礎部: 約9万 m³、躯体部: 約15万 m³) に達する大規模構造物であり、高流動コンクリートによる打込みを1992年5月より実施している (写真-1)。本工事では、①鉄筋・アンカーフレーム等の鋼材が輻輳する箇所に確実にコンクリートを充填すること、②1回のコンクリート最大打込み量が約2000 m³と大量であることから締め固め作業を大幅に軽減することを目的として、高流動コンクリートを採用している。当該構造物のうち、基礎部については1992年12月に二成分系高流動コンクリートによる打込みが完了しており、高流動コンクリートの優れた品質および施工性が確認されている [1]。本工事では、引き続き基礎部と同様の施工方法で、三成分系低発熱型セメントを使用した高流動コンクリートによる躯体部の打込みが続けられており、二成分系高流動コンクリートと同等の品質および施工性が得られている。本稿は、当該構造物に打込まれた三成分系高流動コンクリートの品質について報告するものである。

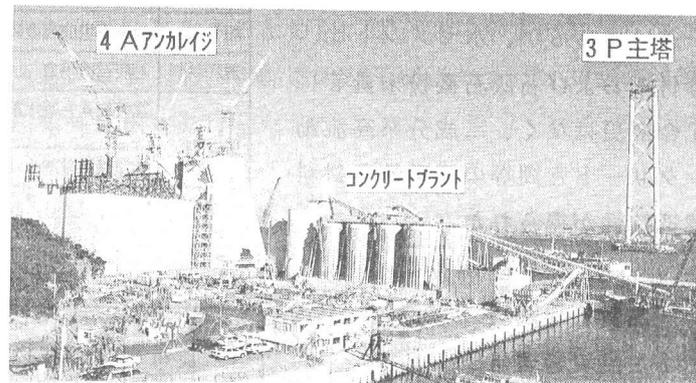


写真-1 4 A アンカレイジ作業現場全景

高流動コンクリートを採用している。当該構造物のうち、基礎部については1992年12月に二成分系高流動コンクリートによる打込みが完了しており、高流動コンクリートの優れた品質および施工性が確認されている [1]。本工事では、引き続き基礎部と同様の施工方法で、三成分系低発熱型セメントを使用した高流動コンクリートによる躯体部の打込みが続けられており、二成分系高流動コンクリートと同等の品質および施工性が得られている。本稿は、当該構造物に打込まれた三成分系高流動コンクリートの品質について報告するものである。

2. 構造物概要

4 A アンカレイジは、図-1 に示すように躯体全体を幅 3 m のスロットで5つのブロックに分割されている。図-2 に R1 および R2 ブロックのリフト割りおよび1993年12月現在の

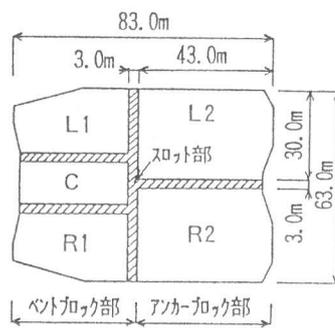


図-1 ブロック割り平面図 (躯体部)

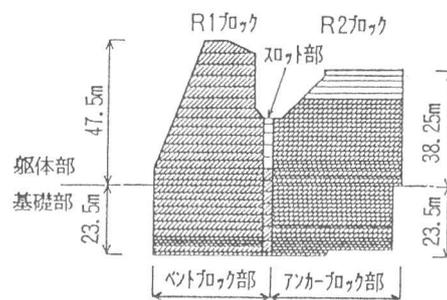


図-2 リフト割りおよび打込み進捗状況 (斜線部: 打込み完了リフト)

の打込み進捗状況を示すが、リフト割りはベントブロックでは1.0 ~ 3.5 m、アンカーブロックでは1.0 ~ 2.0 mである。また、ベントブロックの打込みは1993年9月に完了しており、1993年12月現在で基礎部および躯体部のコンクリートの総打込み量は全体の約90%に達している。

* 1 本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所第四工事長 (正会員)
 * 2 本州四国連絡橋公団第一建設局舞子工事事務所
 * 3 (株)熊谷組技術研究所材料系研究開発部 (正会員)
 * 4 (株)熊谷組技術研究所材料系研究開発部

3. 使用材料および配合

本工事における高流動コンクリートの使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。三成分系高流動コンクリートは二成分系高流動コンクリートと比較して混和剤の標準使用量に若干違いはあるが、水セメント比、細骨材率および石灰石微粉末量等には配合変更はなく、二成分系高流動コンクリートと同等の流動性・材料分離抵抗性が得られた。

表-1 使用材料

使用材料	種類	物性および成分
セメント	二成分系低発熱型	比重3.00、比表面積4850cm ² /g、成分割合：低熱セメント30%、高炉スラグ微粉末70%
	三成分系低発熱型	比重2.80、比表面積4500cm ² /g、成分割合：中庸熱セメント21%、フライッシュ20%、高炉スラグ微粉末59%
細骨材	香川県本島産海砂	表乾比重2.54、吸水率2.39%
粗骨材	兵庫県男鹿島産砕石	石英斑岩、表乾比重2.63、吸水率0.78%
混和材料	石灰石微粉末	石灰純度99.0%、ルーン値7500cm ² /g、比重2.71
混和剤	高性能AE減水剤	変成7種ポリカルボキシ酸および活性持続リマーの複合物
	空気量調整剤	変成7種ポリカルボキシ酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 高流動コンクリートの配合

4. 品質管理試験

4.1 品質管理値

表-3に、本工事における高流動コンクリートの日常品質管理項目および管理

使用セメントの種類	粗骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					高性能AE減水剤 (C×%)	空気量調整剤 (C×%)
					水	セメント	石灰石微粉末	細骨材	粗骨材*		
二成分系	40	55.8	36.0	4.0	145	260	150	615	1137	3.3 **	0.012 **
三成分系	40	55.8	36.0	4.0	145	260	150	609	1121	3.2 **	0.018 **

*1 4020と2005を40:60で混合

*2 標準使用量

値を示す。スランプフローの管理目標値は、製造時は55~65cm、圧送後の筒先では45~60cmとした。また、日常品質管理試験以外に、高流動コンクリートの品質を確認するために、①B型粘度計(8HB型)による塑性粘度の測定、②フレッシュコンクリート中の粗骨材率の測定、③コア供試体による圧縮強度試験を行っている。

表-3 コンクリートの品質管理値

種別	試験項目	試験方法	試験頻度	品質管理値
骨 材	ふるい分け	JIS A 1102	1回/1日	土木学会規準
	砂の塩化物含有量	土木学会規準	午前・午後各1回	—
	細骨材の表面水率	JIS A 1111	1回/30~60分	—
	粗骨材の表面水率	JIS A 1803	1回/30~60分	—
フレッシュコンクリート	スランプフロー	土木学会規準	製造時：最初の5分及び1回/150m ² 筒先：1回/150m ²	製造時 55~65cm 筒先 45~60cm
	空気量	JIS A 1128	同上	4±1%
	塩化物含有量	簡易測定器	午前・午後各1回	300g/m ³ 以下
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108	150m ² 及び1回/300m ²	σ _{0.1} ≥ 300 kgf/cm ²
	単位容積質量	※1	同上	2300kg/m ³ 以上

※1 標準供試体(材齢7日)の寸法、質量より算出する。

4.2 B型粘度計による塑性粘度の測定

高流動コンクリートの性状の一つである材料分離抵抗性を品質管理することを目的として、日常品質管理試験実施時に、コンクリートを5mmふるいでウェットスクリーニングしてモルタルを採取し、B型粘度計により塑性粘度を測定した。

4.3 フレッシュコンクリート中の粗骨材率の測定

高流動コンクリートの流動距離の違いによるコンクリート中の粗骨材率の変化を確認するために、

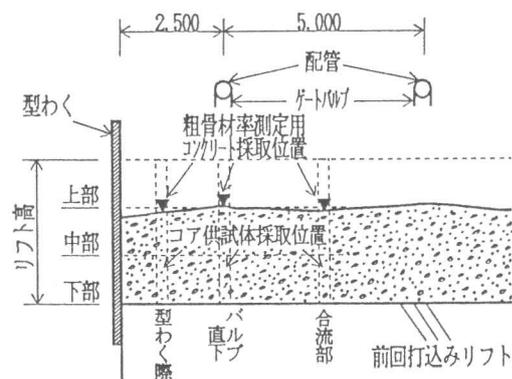


図-3 コンクリート試料およびコア供試体採取位置

打込み時に図-3に示す位置からコンクリートを採取して粗骨材率の測定を行った。打込みブロックから採取したコンクリートは、一定容量(7リットル容器による)を計量後、5mmふるい上でモルタル分を洗い流し、ふるい上に残った粗骨材質量とコンクリート質量の比をコンクリート中の粗骨材率としている。

4.4 採取コア供試体による圧縮強度試験

ブロック内に打込まれたコンクリートの品質を確認するために、図-3に示す位置からコンクリートコア(φ15cm×リフト高)を採取し、コア上部、中部および下部よりφ15×30cmの試験用供試体を切り出し、材齢7日において圧縮強度試験を行った。

5. フレッシュコンクリートの品質

5.1 スランプフロー

図-4に高流動コンクリートの製造時と筒先でのスランプフロー試験結果、およびスランプフローロスを示す。圧送後の筒先のスランプフローは、二成分系高流動コンクリートの場合と同様に低下する傾向が認められ、二成分系高流動コンクリートが5cm程度のスランプフローロスとなったのに対し[1]、三成分系高流動コンクリートでは10cm程度のスランプフローロスとなった。

このように、本工事で使用した高流動コンクリートはポンプ圧送によりスランプフローロスが生ずることが認められた。ただし、実施工においては筒先のスランプフローは50cm以上であればコンクリートは

充分流動しており、また、50cm以下となってもバイブレータを補助的に使うことにより十分な平坦性が得られ、施工上支障をきたすことはなかった。

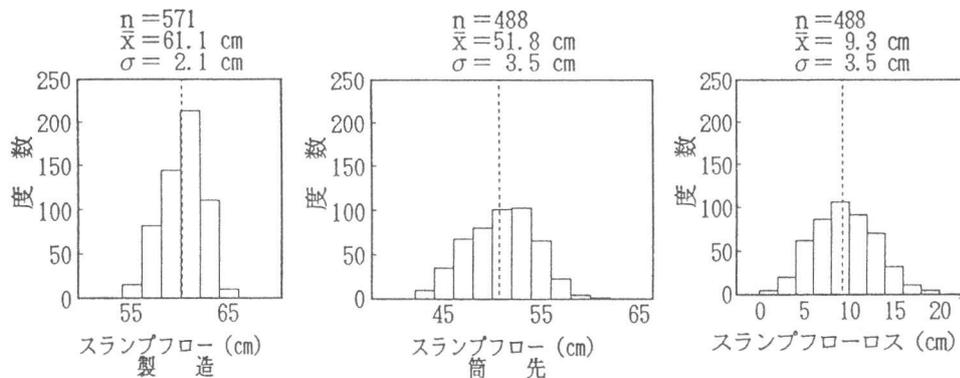


図-4 製造時、筒先のスランプフローおよびスランプフローロス

5.2 塑性粘度

図-5に、製造時のコンクリートから採取したモルタルの塑性粘度の測定結果を示すが、塑性粘度は大体4.5~7.0 Pa・sとなり、コンクリートの性状も材料分離は認められなかった。ただし、塑性粘度が4.5 Pa・s以下の場合にはコンクリートの性状は分離ぎみとなり若干モルタルの先走り現象が認められ、7.0 Pa・s以上の場合にはコンクリートの粘性は高く、コンクリートポンプのポンプ油圧も高くなり、圧送量が低下する傾向が認められた。当該高流動コンクリートの材料分離抵抗性の変動は、コンクリート中の単位水量の変動(主に細骨材の表面水率の変動により生ずる)による影響を最も

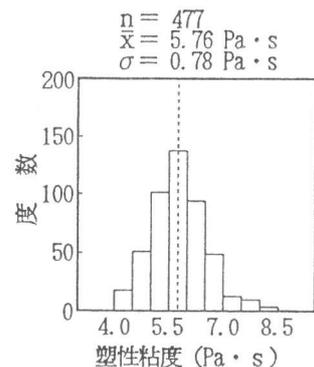


図-5 モルタルの塑性粘度

大きく受けることから[2]、B型粘度計による塑性粘度の測定は高流動コンクリートの性状のひとつである材料分離抵抗性を管理していく上で有効であった。

5. 3 粗骨材率

表-4に、打込みブロック内より採取したコンクリートの粗骨材率測定結果を示し、図-6にバルブ直下で採取したコンクリートの粗骨材率を100とした場合の合流部および型わく際の粗骨材率との比を示す。合流部および型わく際から採取したコンクリート中の粗骨材率は、バルブ直下に比べて若干低くなるが、その値は配合上の粗骨材質量率49.1%とほぼ同様な値であり、材料分離を生ずることなく、ほぼ均質な状態で流動していることが分かる。

表-4 フレッシュコンクリート中の粗骨材率測定結果

	ゲートバルブ直下	合流部	型わく際
試料数	39	39	39
最大値 (%)	52.5	51.0	53.6
最小値 (%)	47.9	43.1	42.3
平均値 (%)	50.4	46.3	47.1
標準偏差 (%)	1.0	2.0	2.4

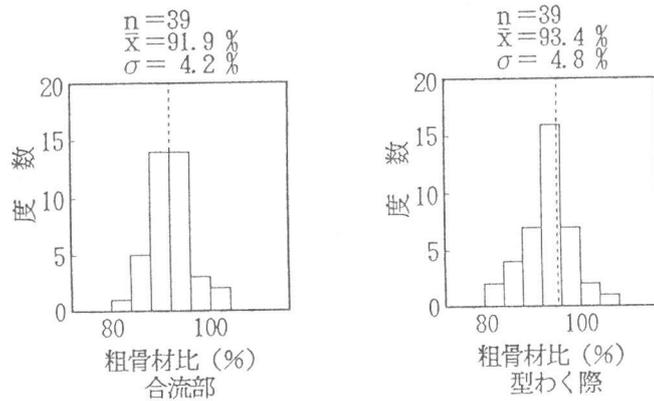


図-6 合流部および型わく際の粗骨材比

6. 硬化コンクリートの品質

6. 1 標準供試体の圧縮強度

図-7に、標準供試体の材齢7日および91日における圧縮強度を示す。材齢7日圧縮強度の全平均は212 kgf/cm²、材齢91日圧縮強度の全平均は393 kgf/cm²となり、二成分系高流動コンクリートに比べて30~40 kgf/cm²程度低くなったが、これはセメントの種類の違いによるものである。また、材齢91日の圧縮強度は概ね350 kgf/cm²以上となり、要求性能

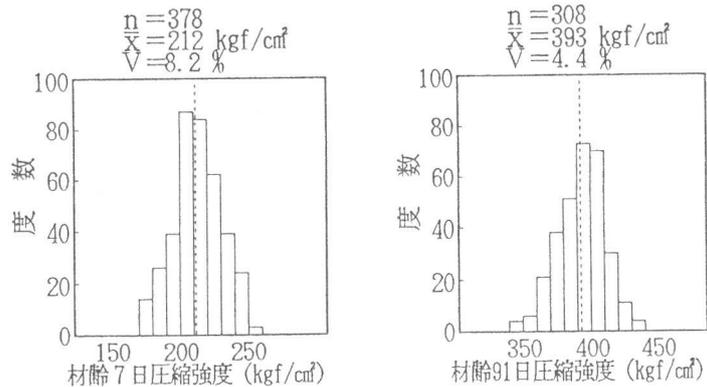


図-7 標準供試体圧縮強度試験結果

(設計基準強度 $f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 、標準供試体の圧縮強度 $\sigma_{91} \geq 300 \text{ kgf/cm}^2$) を満足しており、また変動係数も4.4%と小さく安定した品質であった。

6. 2 コア供試体の圧縮強度

採取コア供試体の圧縮強度試験結果を図-8に示すが、コア圧縮強度の全平均は213 kgf/cm²となり、二成分系高流動コンクリートで行った採取コア供試体の圧縮強度試験の場合に比べて、60 kgf/cm²程度低くなっている。このような圧縮強度の違いはセメントの種類の違いに加え、図-9に示すように、コア供試体を採取したブロックの打込み時期の違いおよびリフト厚の違いによる積算温度の差によるものと考えられる。また、採取位置別および切りだし位置別のコア圧縮強度

を図-10に示す。変動係数は10.5~14.0%と若干大きくなっているが、積算温度の差による影響を考慮すると採取場所や切り出し位置の違いによる差は小さく、均質なコンクリートが打ち込まれているものと考えられる。

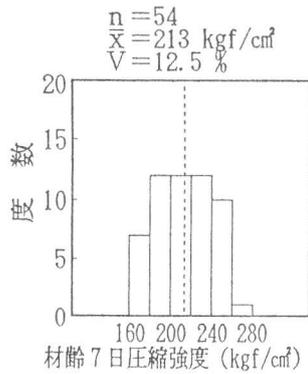


図-8 採取コア供試体の圧縮強度試験結果

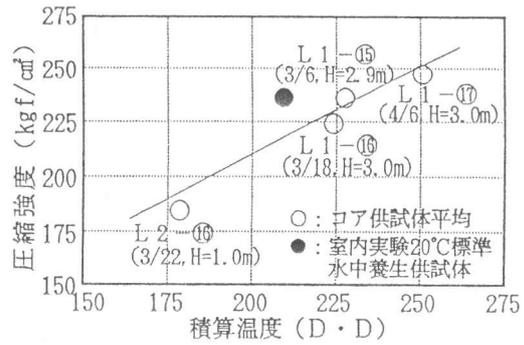


図-9 積算温度と採取コア圧縮強度の関係

7. 打込み時のコンクリートの品質変動

L2ブロック第25リフト打込み時の、使用骨材の表面水率測定結果を図-11に、製造時および筒先のスランプフロー試験結果およびモルタルの塑性粘度測定結果を図-12に、標準供試体の圧縮強度試験結果を図-13に示す。本工事では、粗骨材は浸水冷却後に振動ふるいをかけ、細骨材はサンドスタビライザー使用により水切りを行い表面水率の安定化を図っており、細骨材は4.5~5.1%、粗骨材2005は1.7~2.1%、粗骨材4020は0.8~1.1%と安定している。このような表面水率の安定化により、製造時のコンクリートのスランプフローやモルタルの塑性

	ゲート直下	合流部	型内際	コア上部	コア中部	コア下部	標準供試体
試料数	18	18	18	18	18	18	54
変動係数	11.0	14.0	10.5	11.4	13.7	10.8	8.1

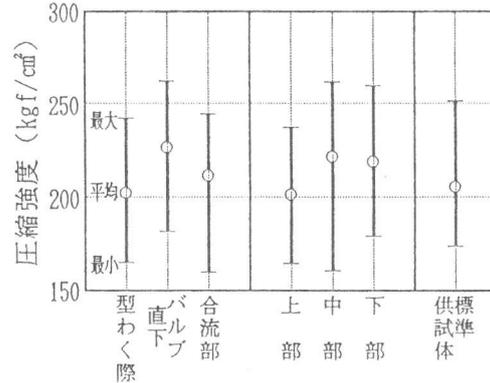


図-10 採取場所別のコア圧縮強度

粘度は、および標準供試体圧縮強度の日内変動は小さくなっており、当該高流動コンクリートのように単位水量の影響を受けやすいコンクリートでは表面水率の安定化対策あるいは変動に対応できる管理が必要と考えられる。また、製造時のコンクリート品質は安定しているが、図-12に示すようにポンプ圧送後の筒先ではスランプフローは低下し、ばらつきも大きくなる傾向が認められたことから、本工事における筒先のスランプフローの

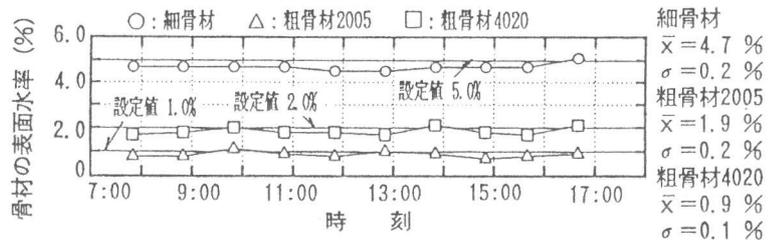


図-11 各骨材の表面水率測定結果

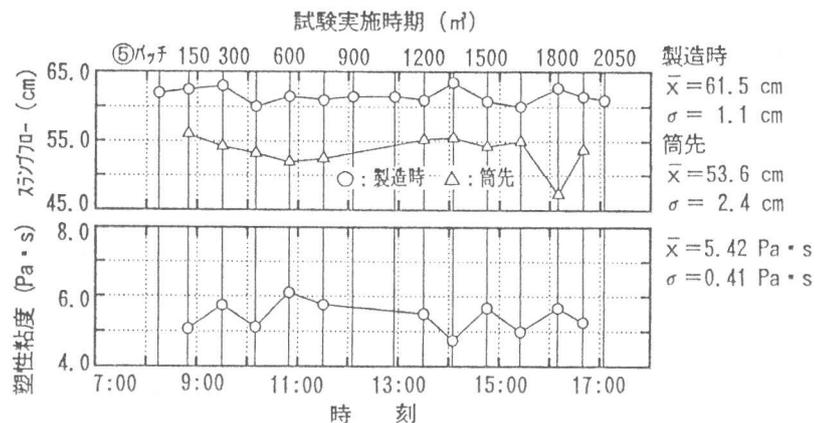


図-12 フレッシュコンクリートの品質

品質管理値45~60cmは適切な許容範囲であった。

8. まとめ

4 A アンカレイジ躯体部に打込んだ三成分系高流動コンクリートの品質についてまとめると以下ようになる。

- (1)ポンプ圧送により、打込み地点で製造時より10cm程度のスランプフローロスが認められたが、50cm以上のスランプフローであればほとんどバイブレータを使用しなくても十分な平坦性が得られた。
- (2)B型粘度計により測定したモルタル部分の塑性粘度は、高流動コンクリートの材料分離抵抗性を管理する上で有効であった。
- (3)標準供試体の圧縮強度は、二成分系高流動コンクリートの場合に比較して若干低くなっているが、材齢91日の圧縮強度は350 kgf/cm²と要求品質（設計基準強度 $f'_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ ）を充分満足しており、且つ変動係数も4.4 %と小さく、安定した品質であった。
- (4)流動距離の違いによる粗骨材量および圧縮強度の差は小さく、均質なコンクリートが打ち込まれていることが確認された。
- (5)高流動コンクリートのフレッシュ性状は単位水量の変動の影響を受けやすいため、本工事におけるような骨材の表面水率安定化対策あるいは変動に対応できる管理が必要である。
- (6)高流動コンクリートは、ポンプ圧送後の打込み地点で製造時に比べて、スランプフローは低下する傾向が認められることから、品質管理値は適切な許容範囲を設定することが必要である。

〔謝辞〕本工事における高流動コンクリートによる実施工に当たっては、明石海峡大橋構造用マスコンクリート委員会（委員長 東京工業大学工学部 長瀬重義教授）の委員各氏、並びに同委員であり、ハイパフォーマンスコンクリートの提唱者である東京大学工学部 岡村甫教授、小沢一雅助教授に貴重な御助言、御援助を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- [1] 有馬 勇・末永清冬・櫻井重英・林 順三：高流動コンクリートによる明石海峡大橋4 A アンカレイジの施工、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 1, pp189-194、1993
- [2] 櫻井重英ほか：材料の粒度が高流動コンクリートのフレッシュ性状に与える影響、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、V-26、pp78-79、1993.9

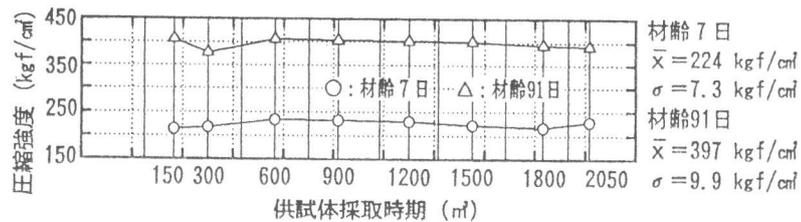


図-13 標準供試体の圧縮強度