

[80] 鋼繊維補強コンクリートの衝撃荷重下における変形性状

下村 弥 (神戸製鋼所スラグ・建材部)

正会員 ○ 亀井和郎 (神戸製鋼所スラグ・建材部)

1. ま え が き

鋼繊維補強コンクリート(SFRC)は、脆性材料である普通コンクリートの欠点を改善し靱性に優れた材料であり、多くの力学的特徴を有している。近年、この特徴を有効に活用させる利用技術も進歩し、鋼繊維補強コンクリートの適用分野が拡大してきている。

鋼繊維補強コンクリートの静的力学特性については、既に数多くの研究が行なわれ、その成果として試験方法、評価方法も公表されている。一方、動的力学特性についても研究が進められ、特に耐衝撃特性が非常に優れていることが明らかにされてきている。しかし、耐衝撃性を目的とした実際の使用例は数少ないのが現状である。

本研究は、近接トンネルの施工に際し、後続トンネル掘削時の発破衝撃をくり返し受ける先行トンネルの一次覆工吹付けコンクリートへ鋼繊維補強コンクリートの適用性を確認するために、普通コンクリートと鋼繊維補強コンクリートとの耐衝撃特性の比較を実験的に行なったものである。なお、発破による衝撃が対象のため、一般的には衝撃速度の速いいわゆるハードな衝撃と考えられるが、トンネル現場におけるコンクリート測定の結果、波形の立ち上がり時間が数msecと長いことから、いわゆるソフトな衝撃の範囲であると認められた。このため、実験もソフトな衝撃条件とし、簡便である落錘式衝撃試験方法により実施した。

2. 実 験 概 要

2.1 実 験 方 法

衝撃は重錘を自由落下させることにより与えた。衝突体の速度は、1.4~2.4m/sの範囲である。耐衝撃性の比較は、各コンクリート供試体に同一衝撃荷重をくり返し载荷させ、破壊に至るまでの変形性状を比較することにより行なった。

衝撃試験方法の概要を図-1に示す。測定の装置や方法は、概ね小柳¹⁾らの方法に準じた。測定機器は、表-1に示すものを用いた。

2.2 載 荷 方 法

供試体寸法は全て10×10×40cmとした。落錘質量は5.2kg一定とし、その形状は70φ×140mmの鋼製で、先端は35Rの球状とした。载荷スパンは30cmとし、中央集中载荷とした。载荷方向は、コンクリート吹付方向の反対側から行なった。

落錘と供試体の接触条件については、予備試験時に厚さ3mmのゴム板の有無を比較した。この結果、測定波形特性に大きな差が無かったため、荷重がよ

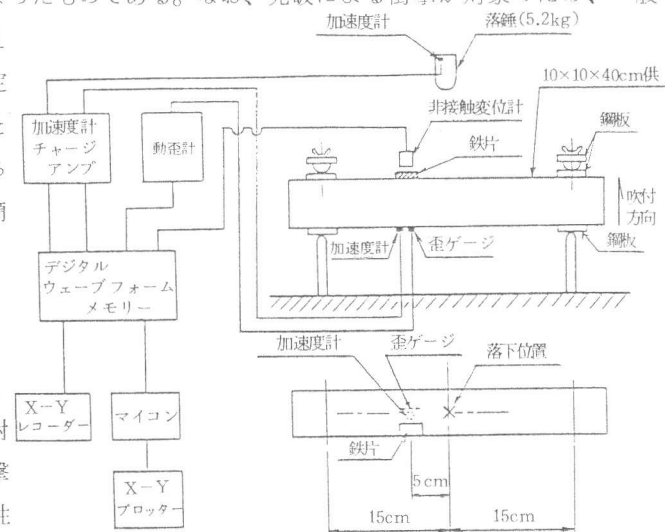


図-1 落錘式衝撃試験

表-1 測定機器の特性

加 速 度 計	容量3000G, 応答周波数特性15KHz
加速度計アンプ	応答周波数特性30KHz
ひずみゲージ	ゲージ長20mm, 応答周波数特性100KHz
動ひずみ計	応答周波数特性50KHz
非接触変位計	容量0~5mm, 応答周波数特性5KHz
デジタル ウェーブフォームメモリー	最小サンプリング間隔1μsec, 最大サンプリング数4096

り直接的に測定できるよう緩衝材を用いなかった。

供試体支持条件は、衝撃時の供試体端部の浮き上りを防止するため図-1に示す構造とし、支点における供試体の回転が自由となるような固定とした。荷重条件は、本試験とほぼ同等の強度を有する供試体を用いた予備試験を行い、落下高さを変形性状の関係を調べた。この結果、普通コンクリートが落下回数3回で破壊する落下高さが10cm、落下回数1回で破壊する落下高さが30cmと判明し、以降この2水準の条件にて試験した。

2.3 測定方法

供試体における測定位置は、種々の制約を考慮し全て中央から5cm離れた位置とした。ウェブメモリーのトリガーには供試体の加速度計を用い、ウェブメモリーの設定は予備試験の結果から、サンプリング間隔を5μsec、サンプリング数を1024ワード、前置時間を95ワードとした。

各測定値は一度ウェブメモリーに記憶し、X-Yレコーダーとマイコン画面で波形を確認後、マイコンのフロッピーディスクに記憶させ、その後の計算に用いた。なお、落錘自由落下時の重力加速度1Gは計算時無視した。

供試体のたわみは、供試体上面の非接触変位計と、下面に取付けた加速度計により計測した。供試体引張縁のひずみは下面に貼付けたひずみゲージにより、衝撃荷重は落錘に取付けた加速度計により計測した。

3. 供試体

供試体はパネルに吹付けたコンクリートを、硬化後切り出し成形したものである。吹付け方法はセミ湿式であり、試験時材令は約1.5ヶ月である。

使用した鋼繊維は、0.5φ×30mmの異形カットワイヤーで、セメントは普通ポルトランドセメントである。表-1にコンクリートの示方配合を、表-2に静的強度試験結果を示す。

4. 結果と考察

4.1 測定波形

図-2、図-3に測定波形の一例を示す。両者は、普通コンクリート供試体の落下高さ10cmの場合における落下回数が1回目と3回目のものである。

供試体の加速度を2回積分して得られた時間-たわみ曲線(c)と、非接触変位形により直接測定した時間-たわみ曲線(f)とはほぼよく一致している。この測定結果は、両者とも衝撃による供試体の変形をほぼ正確にとらえているものと考えられ、両測定方法が

表-2 コンクリート示方配合

コンクリート種類	記号	Gmax (m.m)	W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)			
					C	S	G	SF
普通コンクリート	P	15	45	60	360	1130	785	0
SFRC 1.0%	F1	13	50	70	400	1221	537	80
SFRC 1.5%	F2	13	50	70	400	1221	537	120

急結剤 C×4%

表-3 静的強度試験結果

記号	圧縮	曲げ	曲げ靱性	せん断
P	397	32.6	8.9	51.0
F1	409	44.0	32.6	74.6
F2	455	52.3	41.6	75.5

(単位: kg/cm²)

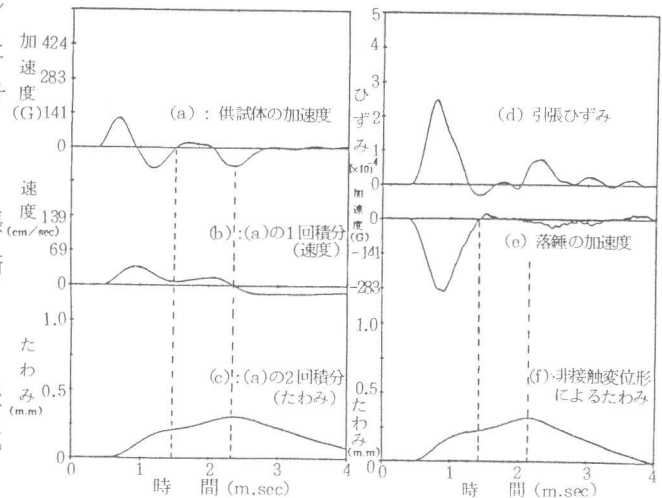


図-2 測定波形例 (落下回数 1回目)

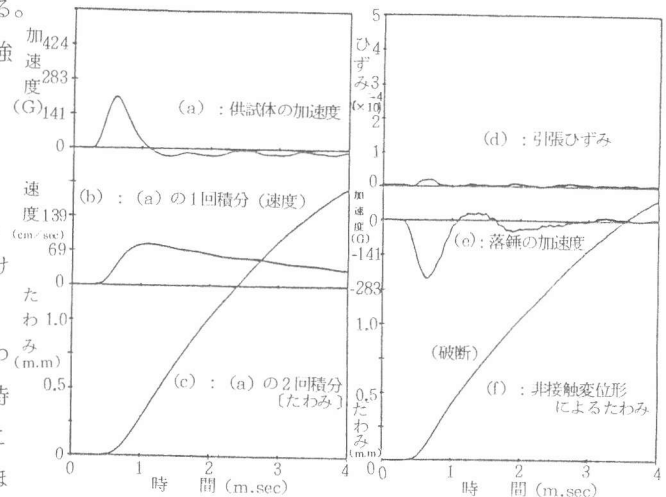


図-3 測定波形例 (落下回数 3回目)

十分に実用的であると言える。

図-2において特徴的なことは、たわみ曲線に2つのピークが存在することと、たわみ曲線(f)と引張ひずみ曲線(d)とが対応していないことである。たわみ曲線の2つのピークに関しては、第1のピークが落錘加速度の波形にはほぼ対応していることから、この時のたわみが衝撃によるもの、そして第2のピークは衝突後の慣性によるものと考えられる。この特徴は、鋼繊維補強コンクリートも同じであった。このような現象は、供試体支持条件も影響するものと考えられる。もう一方の特徴であるたわみ曲線とひずみ曲線の不一致は、予備試験時の圧縮縁においても観測され、また供試体が破壊せず振動するような条件でも同様な傾向を示した。この事実は恐らく、ひずみ波形が衝撃による弾性波の影響を受けているものと考えられる。

図-2と図-3を比較すると明らかなように、落下回数が進展すると引張縁ひずみ(d)が減少する。すなわち、供試体のひび割れが進展するにつれて、引張縁ひずみの最大値は低下する。しかし、予備試験時において、圧縮縁ひずみはこのような著しい低下は無かった。

4.2 普通コンクリートとSFRCの比較

表-4に、試験落下回数を示す。

1) たわみ

図-4に、落下高さ30cmの場合における時間-たわみ曲線を示す。これらの図から明らかなように、落下回数1回目のたわみは鋼繊維混入率が増加するにつれて小さくなっており、鋼繊維の補強効果がうかがえる。

落下回数と各落下回数における最大たわみの関係を図-5に示す。(a)が落下高さ10cm、(b)が落下高さ30cmの場合である。図-5(a)より落下高さ10cmの場合、鋼繊維補強コンクリートは落下回数が増進しても各落下回数のたわみが0.4mm程度に安定していること、また鋼繊維混入率の間に差が少ないことが判る。

以上の事実から、大きな衝撃荷重条件ではたわみ

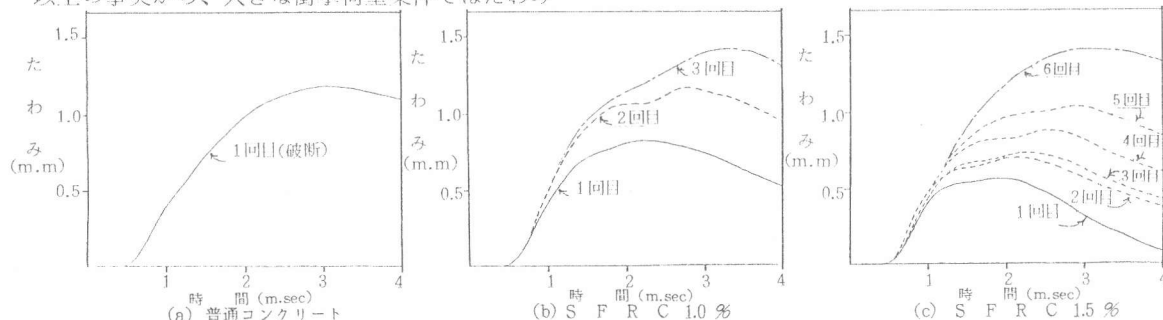
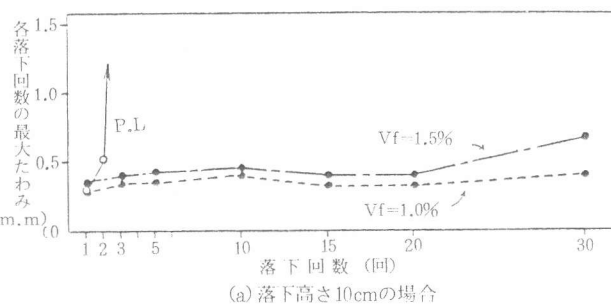


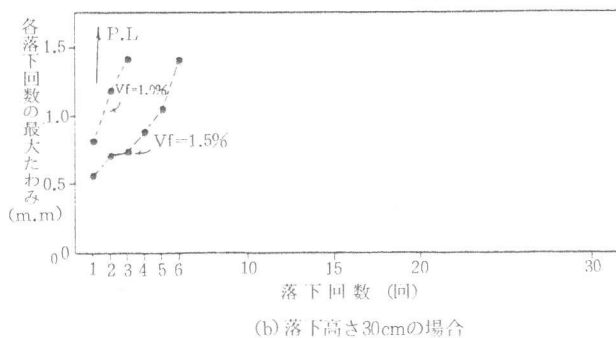
図-4 時間とたわみの関係(落下高さ 30cm)

表-4 試験落下回数

落下高さ (cm)	供試体 記号	落 下 回 数								
		1	2	3	4	5	6		30	
10	P		クラック	破 断						
	F 1						クラック			変形大 →
	F 2							クラック		変形大 →
30	P	破 断								
	F 1	クラック			変形大 →					
	F 2			クラック						変形大 →



(a) 落下高さ10cmの場合



(b) 落下高さ30cmの場合

図-5 落下回数と各回最大たわみの関係

を同一とさせるには鋼繊維混入率が増加するにつれて荷重が増大すること、一方小さな荷重条件ではくり返し回数に差が生じると容易に想像される。

2) ひずみ

各落下回数における引張ひずみの最大値は、落下回数が進みコンクリートのひび割れが進展するにつれて低下した。この関係を示すものが図-6である。この図は、落下回数1回目のひずみ最大値を基準とし、以降の測定値を1回目の測定値で除した百分率表示である。この理由は、供試体間の測定値にバラツキが大きかったためであり、バラツキの原因には、コンクリートの非均質性や、測定ゲージ長、ゲージ貼付場所における骨材の影響等が考えられる。

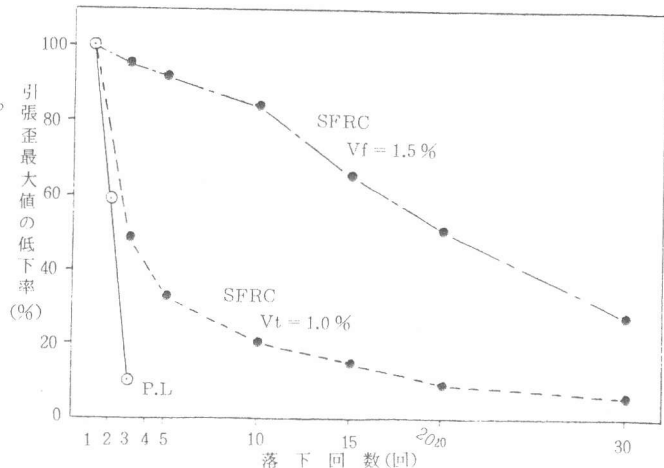


図-6 落下回数と引張ひずみ最大値の関係
(落下高さ 10cm)

図-6からは、普通コンクリートと鋼繊維補強コンクリートの間に大きな差があること、特に鋼繊維混入率1.5%ではひずみの低下が非常に緩やかなことが判る。この結果は普通コンクリートではひび割れの進展に伴い引張側の応力伝達が急速に低下するのに反して、鋼繊維補強コンクリートではひび割れの進展が遅いことと、ひび割れ断面においてもかなりの応力伝達がなされていることを示唆するものと考えられる。鋼繊維混入率1.0%では、落下回数初期におけるひずみの低下が普通コンクリートと同程度であることから、実用上の耐衝撃性向上には鋼繊維混入率1.5%以上が必要であると考えられる。

5. 結論

- (1) 供試体の加速度を測定し、これを2回積分して得られるたわみ波形は、非接触変位形により直接測定したたわみ波形とよく一致した。加速度計によるたわみ測定は十分実用的であることが示された。
- (2) ひずみ波形とたわみ波形が異なる波形を示すことから、ひずみ波形は衝撃時の弾性波の影響を受けるものと考えられる。
- (3) くり返し衝撃によるコンクリートの劣化程度は、くり返し回数の進展とともに変化する引張ひずみ最大値の低下によって把握できる。
- (4) 鋼繊維補強コンクリートとすることにより、1回の衝撃で同一たわみとするには衝撃荷重が増加すること、またくり返し衝撃ではくり返し回数が著しく増加し、衝撃靱性の非常に大きいことが判明した。さらに、実用的な耐衝撃性の向上には鋼繊維混入率1.5%以上が必要であると確認できた。

6. あとがき

今回の実験範囲では、実験の水準も少なく、供試体寸法・供試体支持条件・測定条件等々、実験条件の検討がまだ不足しており、今後解明すべき事項が数多く指適できる。また、あらためて衝撃実験の困難さ²⁾を痛感するところでもある。今後さらに実験を継続し、コンクリート衝撃特性の解明に努力する所存である。

最後に、貴重な御助言をいただきました岐阜大学小柳・六郷両先生に深謝いたします。

参考文献

- 1) 小柳・六郷他 : 衝撃荷重下のコンクリートの変形と破壊に関するエネルギー的考察
第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集, 1983
- 2) 例えば、藤井・宮本 : 衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動
コンクリート工学 vol.21, No.9, 1983