

PVA 短繊維を混入した大型 RC 梁の耐衝撃性に関する実験的研究

Experimental study on impact resistant capacity for large-scale RC beams mixed with PVA short-fiber

岸 徳光*, 三上 浩**, 栗橋 祐介***, 田口 史雄****

Norimitsu Kishi, Hiroshi Mikami, Yusuke Kurihashi and Fumio Taguchi

*工博 室蘭工業大学大学院教授 社会基盤ユニット 暮らし環境系領域 (〒 050-8585 室蘭市水元町 27-1)

**博 (工) 三井住友建設 (株) 技術開発センター 主席研究員 (〒 270-0132 千葉県流山市駒木 518-1)

***博 (工) 室蘭工業大学大学院講師 社会基盤ユニット 暮らし環境系領域 (〒 050-8585 室蘭市水元町 27-1)

****博 (工) 寒地土木研究所 上席研究員 耐寒材料チーム (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

In this study, in order to establish impact resistant design method for the roof of RC rock-shed by using reinforced concrete mixed with PVA short-fiber, impact loading tests of large-scale shear-failure type RC beam taking with/without PVA short-fiber and falling height of steel weight as variables. From this experiment, following results are obtained: 1) impact resistant capacity of large-scale shear-failure type RC beams can be improved due to mixing PVA short-fiber into concrete; and 2) evaluating input impact energy in terms of impact resistant capacity, that of the RC beam mixed with 1 % of volume ratio of PVA short fiber can be upgraded by 2.5 times than that of the RC beam mixed without short-fiber.

Key Words : large-scale RC beam, PVA short-fiber, shear load-carrying capacity, impact resistant capacity

キーワード：大型 RC 梁, PVA 短繊維, せん断耐力, 耐衝撃性

1. はじめに

コンクリートに短繊維を混入することによって、引張荷重作用下におけるひび割れ発生後の脆性破壊を抑制することが可能となる。近年では、トンネルや高架橋からのコンクリート片の剥落を防止することを目的に、比較的少量の短繊維 (短繊維混入率 $V_f = 0.1 \sim 0.3$ %) を混入する方法が多く採用されている^{1),2)}。

一方、短繊維混入率 V_f をさらに増加させることによって、鉄筋コンクリート (RC) 部材の耐荷性能を向上させることが可能となる。従来までは、短繊維材料として鋼繊維 (直径 0.6 mm 程度, 長さ 30 mm 程度) が多く用いられており、平成 11 年には土木学会より「鋼繊維補強コンクリートを用いた RC 柱部材の設計手法 (案)」が出版されている³⁾。

しかしながら、鋼繊維を用いる場合には、1) 構造物表面に錆が発生する場合があること、2) 重量が大きいため運搬・混入等の作業が容易ではない場合があること、等が検討課題として残されている。そのため、最近では軽量かつ耐食性に優れている有機系繊維を用いる研究が盛んに行われている。特に、ポリビニルアルコール (PVA) 短繊維は、親水性がありセメントマトリクスとの付着性に優れていることから、PVA 短繊維を混入したモルタルやコンクリートに関する研究が盛ん

に行われている^{4),5)}。

著者らは、これまで、PVA 短繊維を混入した RC 梁や版の静的および衝撃荷重載荷実験を実施している^{6),7),8)}。特に、衝撃荷重載荷実験に関しては、ロックシェッド頂版部への適用を想定して、PVA 短繊維混入による RC 梁および版のせん断耐力向上効果を実験的に検討している。その結果、PVA 短繊維を混入することにより RC 梁や版の静的せん断耐力および耐衝撃性を向上可能であり、その効果は短繊維混入率 V_f が大きいほど大きいことなどを明らかにしている。

しかしながら、これらの知見はいずれも室内実験レベルの研究成果である。これらの実験に用いた RC 梁および版の寸法は、それぞれ $150 \times 300 \times 2,400$ mm, $2,000 \times 2,000 \times 180$ mm であり、実構造物の寸法よりも数倍小さい。特に、RC 部材のせん断耐力は寸法効果の影響を強く受けるため、実構造物の場合には短繊維混入によるせん断耐力向上効果が小さく評価される可能性がある。従って、短繊維混入コンクリート製 RC 部材を耐衝撃用途構造物に適用するためには、実規模レベルの部材実験による検証が必要不可欠であるものと判断される。

このような背景より、本研究では、PVA 短繊維混入 RC 部材の合理的な耐衝撃設計手法の確立を最終目的として、PVA 短繊維混入によるせん断破壊型 RC 梁の

表-1 試験体の一覧

試験体名	コンクリートの種類	重錘落下高さ H (m)	計算曲げ耐力 P_{uc} (kN)	計算せん断耐力			せん断余裕度 $\alpha (=V_{uc}/P_{uc})$
				コンクリート分担分 V_c (kN)	短繊維分担分 V_F (kN)	合計 V_{uc} (kN)	
N-5	普通	5.0	1,596	1,152	-	1,152	0.722
N-7.5		7.5					
N-10		10.0					
F-10	短繊維混入	10.0	1,644	1,262	640	1,902	1.157
F-20		20.0					
F-25		25.0					

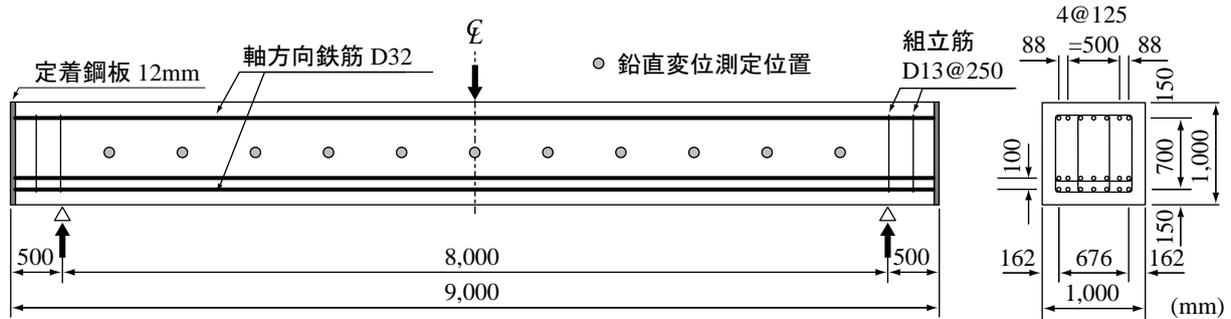


図-1 RC梁の形状寸法および配筋状況

耐衝撃性向上効果を実構造物レベルで検討するため、実ロックシェッドと同程度の断面高さおよび純スパン長を有するRC梁を対象に、PVA短繊維混入の有無をパラメータに取ったRC梁の衝撃荷重実験を行った。なお、せん断破壊が卓越するRC梁の場合には、荷重履歴の影響を強く受けることが著者らの既往の研究により明らかになっているため⁹⁾、本実験では全て単一衝撃荷重により検討を行うこととした。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

表-1には、本実験に用いた試験体一覧を示している。試験体数は、短繊維混入の有無を変化させた2種類のRC梁に対し、重錘落下高さ(以後、落下高さ)をそれぞれ3種類に変化させた全6体である。試験体名は、短繊維混入の有無(N, F)および落下高さ(m)の組合せとして示している。

表中の計算曲げ耐力 P_{uc} および計算せん断耐力のコンクリート分担分 V_c は、コンクリート標準示方書[設計編]¹⁰⁾に準拠して算出している。また、計算せん断耐力の短繊維分担分 V_F は、著者らの既往の研究結果⁷⁾に基づき、式(1)により算出している。

$$V_F = 2 \times b \times (z / \tan \theta) \times f_r \quad (1)$$

ここに、 b : ウェブ幅 (mm), $z = d / 1.15$, d : 有効高さ (mm), θ : 斜めひび割れの角度, f_r : 短繊維混入コンク

表-2 PVA短繊維の寸法および材料特性値

長さ l (mm)	直径 d (mm)	アスペクト比 l/d	弾性係数 (GPa)	引張強度 (GPa)	破断ひずみ (%)
30	0.66	45	29.4	0.88	7.0

リートの残存引張強度 (N/mm²) である。なお、後述するように残存引張強度 f_r は、短繊維混入コンクリートの一軸引張試験結果により、ひび割れ発生後に短繊維が保持する引張強度として評価される物性値である。また、斜めひび割れの角度 θ は文献⁷⁾に基づき45°と仮定した。

表中の計算耐力より、NおよびF梁のせん断余裕度 $\alpha (=V_{uc}/P_{uc})$ はそれぞれ0.7, 1.2程度であるため、静荷時にはそれぞれせん断および曲げ破壊により終局に至ることが予想される。ただし、計算せん断耐力の短繊維分担分 V_F は、純スパン2.5m程度のRC梁の静荷実験結果に基づく算定値であり、本研究で対象としている実規模レベルの部材については、その適用性が確認されていない。

図-1には、RC梁の形状寸法および配筋状況を示している。本研究では、PVA短繊維混入コンクリートを実ロックシェッドの頂版部へ適用することを想定してRC梁の形状寸法を設定した。すなわち、梁幅は単位の道路軸方向長さである1m、梁高は実ロックシェッド

表-3 コンクリートの配合一覧

試験 体名	短繊維混入率 V_f (vol.%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP C×(%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G			
N	0	53	46	161	301	857	997	1.0	12.0	4.4
F	1.0	50	61	170	338	1150	729	2.0	19.1	9.2

SP: 高性能減水剤

表-4 コンクリートの力学的特性値

試験 体名	短繊維混入率 V_f (vol.%)	圧縮強度 (MPa)	圧縮靱性係数 (MPa)	弾性係数 (GPa)	残存引張強度 (MPa)
N	0	26.3	13.2	22.8	-
F	1.0	34.6	24.0	23.4	0.40

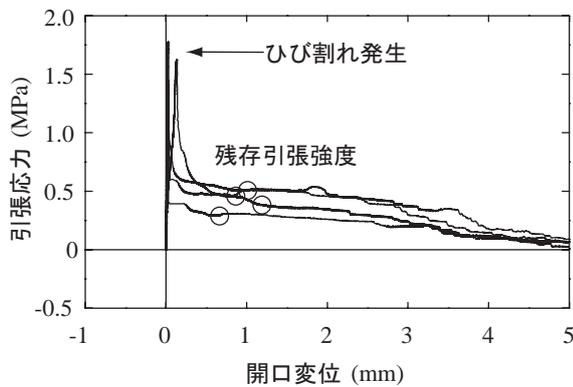


図-2 引張応力-開口変位関係の一例



写真-1 重錘と脱着装置

頂版の厚さとして多く採用されている1mとした。また、純スパン長は、実ロックシェッドの道路軸直角方向幅と同程度である8mとした。軸方向鉄筋にはD32を用い、下側および上側にそれぞれ14および4本配置している。ここで、引張側の軸方向鉄筋は、通常の実ロックシェッドの場合よりも2倍程度多く配筋した。これは、普通コンクリート製RC梁をせん断破壊型の設計とするためである。また、短繊維混入によるせん断破壊抑止効果を確認するため、せん断補強筋は配置していない。ただし、支点近傍には、上下側鉄筋の間隔を保持するための組立筋を配置している。

本実験に用いた鉄筋の降伏強度は390MPaであった。また、表-2にはPVA短繊維の寸法および材料特性値の一覧を示している。

2.2 コンクリートの配合、製造方法および力学特性

表-3には、本実験に用いたコンクリートの配合を一覧にして示している。各コンクリートの配合は、短繊維を混入する場合においてもポンプ圧送が可能で、かつ材料分離を生じないように調整した。短繊維混入率 V_f は、著者らの既往の研究成果^{6),7),8)}に基づき、部材の耐力向上効果、施工性およびコストなどの観点を



写真-2 RC梁の設置状況

総合的に勘案して1.0%と決定した。

短繊維混入コンクリートの製造は、1)短繊維を混入しないベースコンクリートをコンクリートプラントで製造し、2)アジテータ車に積載して、試験体製作ヤードまで運搬した後、3)アジテータ車のドラムを高速回転させながら、PVA短繊維を少量ずつ添加する方法により行った。なお、短繊維混入によるスランプロス4cm程度であった。また、ファイバボールを含め短繊維の偏在は認められず、PVA短繊維がほぼ均等に分散していることを確認している。

表-4には、各コンクリートの圧縮特性および残存引張強度を一覧にして示している。ここで、残存引張

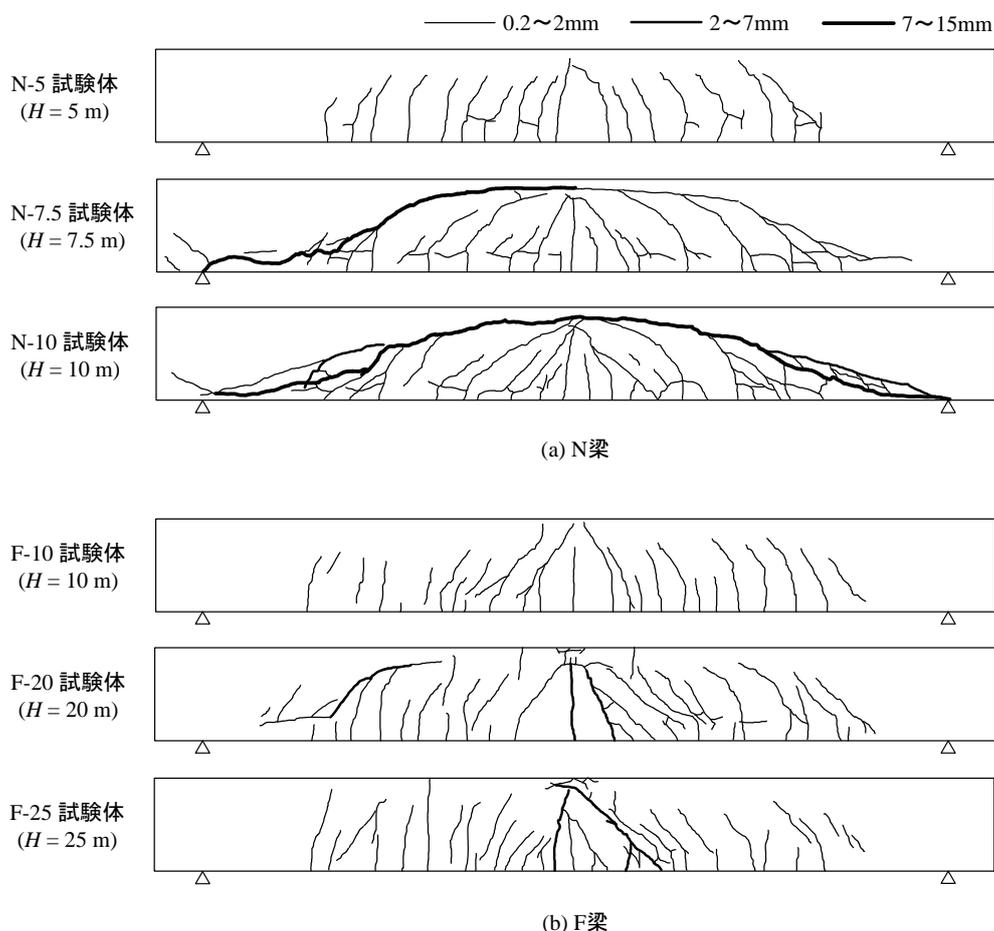


図-3 各試験体のひび割れ分布性状

強度は、著者らの既往の文献⁷⁾を参考に、直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体を用いた一軸引張試験により得られる引張応力-開口変位関係に基づいて求めている。すなわち、図-2 に示すように、本実験に用いた短繊維混入コンクリートの引張応力-開口変位関係において、ひび割れ発生後引張応力が低下した直後の引張応力を残存引張強度としている。

表より、短繊維混入コンクリートの圧縮強度が、普通コンクリートよりも 3 割程度大きいことが分かる。一方、弾性係数は、コンクリートの種類によらずほぼ同様である。これは、短繊維混入コンクリートの細骨材比 s/a が普通コンクリートの場合に比べて大きいことが要因の 1 つであるものと考えられる。なお、短繊維混入コンクリートの残存引張強度は、円柱供試体 4 本の平均値により 0.40 MPa となっている。

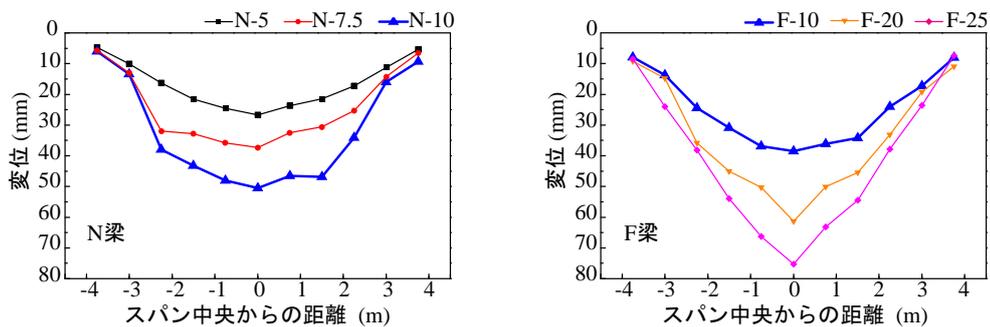
2.3 実験方法

実験は、質量 3,000 kg の重錘をトラッククレーンを用いて所定の高さまで吊り上げ、脱着装置を用いて RC 梁のスパンおよび幅方向中央部に自由落下させることにより行っている。用いた重錘の形状寸法は写真-1 に示しているように、直径 1 m、高さ 97 cm で底部が

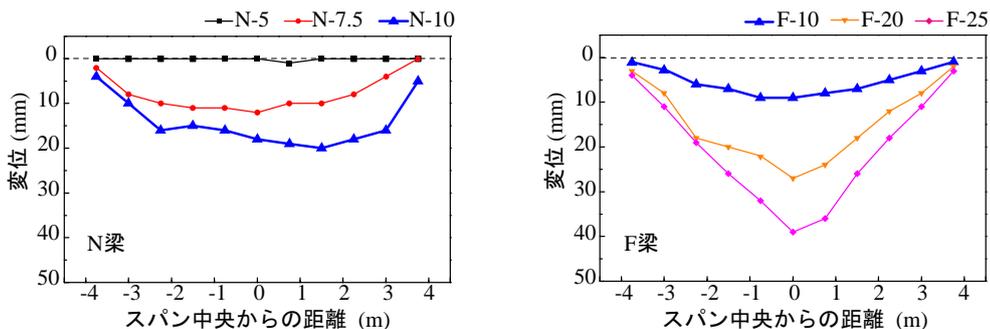
半径 80 cm の球状である。なお、RC 梁のスパン中央部には、重錘の跳ね上がりおよび転倒防止のため厚さ 20 cm の敷砂を設置している。

RC 梁は、支点反力測定用ロードセルと跳ね上がり防止治具付の支点治具上に設置されており、治具全体は RC 梁の回転のみを許容するピン支持に近い構造となっている。写真-2 には、試験体の設置状況を示している。

重錘衝撃力 P は、重錘上面に設置した応答周波数 5 kHz 以上、容量 1,000 G のひずみゲージ型加速度計から得られる減速度に重錘質量を乗じて評価している。また、支点反力 R は、容量が 1,500 kN、応答周波数が DC ~ 1 kHz 以上のロードセルを用いて計測している。また、変位はスパン中央部から両支点に向かって 750 mm 間隔で計 11 点測定している。これらの変位は、容量 200 mm、応答周波数 915 Hz の非接触式レーザ変位計を用いて測定した。全ての実験データは、デジタルメモリレコーダを用い、サンプリング周波数 10 kHz で一括収録している。また、実験終了後には、RC 梁側面に発生したひび割れを撮影し、ひび割れ分布図を作成している。



(a) 荷点変位ピーク時の変位分布



(b) 残留変位分布

図-4 荷点変位ピーク時の変位分布および残留変位分布

3. 実験結果

3.1 ひび割れ性状

図-3には、実験終了後における各RC梁側面のひび割れ分布性状を示している。図より、普通コンクリート製のN梁は、落下高さ $H=5\text{ m}$ では、曲げおよび曲げせん断ひび割れが発生しているものの、大きなひび割れの開口は見られない。 $H=7.5\text{ m}$ の場合には、左右のせん断スパンにアーチ状のひび割れが数本ずつ発生しており、左側せん断スパン最外縁のアーチ状ひび割れが大きく開口している。また、梁下縁には軸方向鉄筋配置位置に沿う形で割裂ひび割れが発生している。

$H=10\text{ m}$ の場合には、左右のせん断スパン最外縁のアーチ状ひび割れが大きく開口している。なお、これらのアーチ状ひび割れの幅は全般的に 15 mm 程度であることより、RC梁はせん断破壊に至っているものと判断される。

短繊維混入コンクリートを用いたF梁は、落下高さ $H=10\text{ m}$ では、曲げおよび曲げせん断ひび割れが発生しているものの、大きなひび割れの開口は見られない。 $H=20\text{ m}$ の場合には、スパン中央部において曲げおよび斜めひび割れの開口が見られる。また、両側のせん断スパンには曲げひび割れの他、アーチ状のひび割れが発生しており、左側せん断スパンにおいては、アーチ状ひび割れの開口が見られる。

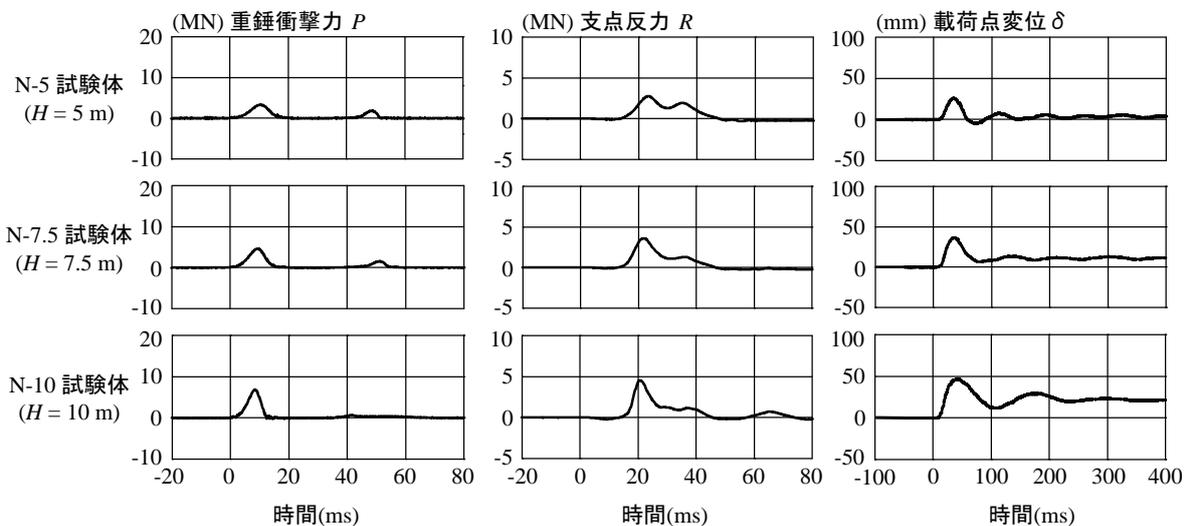
$H=25\text{ m}$ では、アーチ状のひび割れは見られず、スパン中央部において曲げおよび斜めひび割れの開口が

卓越している。なお、ひび割れ幅は最大で 7 mm 程度であることより、図-2に示す短繊維混入コンクリートの一軸引張試験結果を参考にすると、ひび割れ発生部では、短繊維の架橋効果が消失しているものと判断される。なお、梁上縁ではコンクリートが圧壊の兆候を示している。以上のことから、 $H=25\text{ m}$ の場合には、RC梁はせん断破壊や角折れ等の壊滅的な破壊には至っていないものの、終局に近い状態であるものと考えられる。

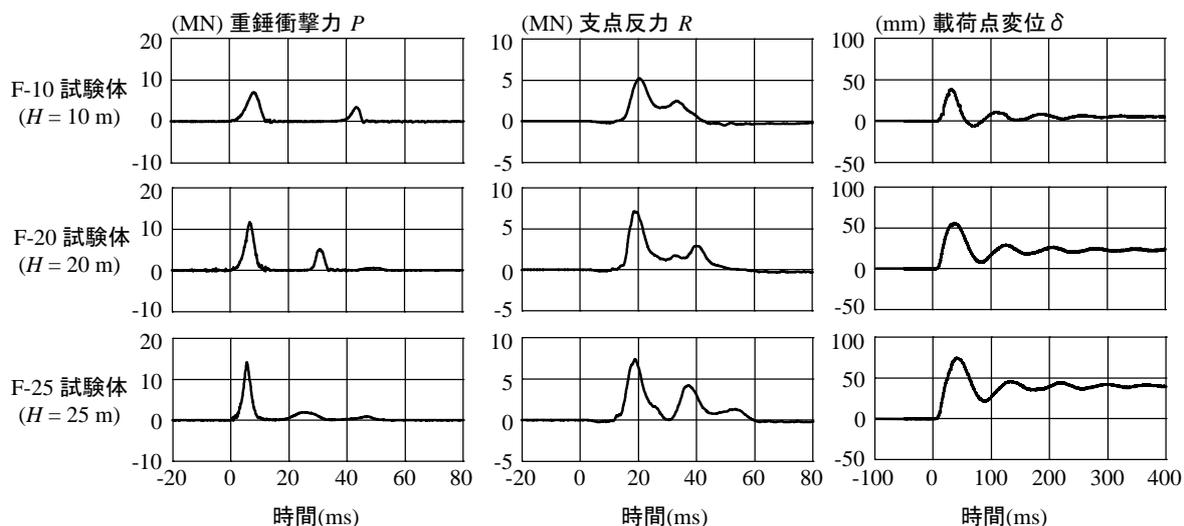
3.2 変位分布性状

図-4には、各試験体の荷点変位ピーク時の変位分布（以後、最大変位分布）および残留変位分布を示している。普通コンクリート製のN梁の変位分布を見ると、落下高さ $H=5\text{ m}$ では、最大変位分布は、梁中央部を頂点とする下に凸の曲線分布を示し、残留変位分布は、スパン全域に渡ってほぼ零となっていることが分かる。従って、N梁は落下高さ $H=5\text{ m}$ においては、ほぼ弾性状態にあるといえる。

一方、落下高さ $H=7.5, 10\text{ m}$ の場合には、最大変位分布は、スパン中央部から左右にほぼ 2 m の範囲で同程度の変位量となる台形状の分布を示しており、落下高さ H が大きいほど各位置の変位量が大きくなる傾向にある。残留変位分布は、スパン中央部から左右にほぼ 3 m の範囲で同程度の変位量となる台形状の分布を示している。最大変位分布の場合と同様に、落下高さ H が大きいほど残留変位が大きくなる傾向にある。



(a) N 梁



(b) F 梁

図-5 重錘衝撃力、支点反力、載荷点変位に関する時刻歴応答波形

以上のことより、N 梁の場合には、落下高さ $H = 7.5$ m 以降においてせん断破壊型の変形状を示しており、 $H = 10$ m の場合にはさらに変形量が増大し、せん断破壊の傾向が強く現れていることが明らかになった。

短繊維混入コンクリート製の F 梁の結果より、落下高さ $H = 10$ m では、最大変位分布はスパン中央部を頂点とする下に凸の曲線分布を示している。また、残留変位分布も最大変位分布と同様の曲線分布を示している。なお、最大変位と比較すると、変位量はスパン中央部で 30 mm 程度復元していることが分かる。前述の N 梁に関する $H = 10$ m の結果と比較すると、F 梁の方が全般的に最大変位および残留変位量が小さく、かつ両変位分布は左右対称の連続的な曲線分布となっている。このことより、PVA 短繊維を $V_f = 1\%$ 混入することにより、梁全体の変形量が抑制されるとともに、変

形モードもせん断から曲げ型に移行することが明らかになった。

$H = 20, 25$ m の場合には、最大変位および残留変位ともに、スパン中央部を頂点とする逆三角形に近い分布性状を示しており、落下高さ H が大きい場合ほど全体の変位量が大きい。このことより、F 梁は落下高さ $H = 25$ m までは、壊滅的なせん断破壊に至らず、曲げ変形が卓越する性状を示していることが明らかになった。

3.3 時刻歴応答波形

図-5 には、各試験体の重錘衝撃力 P 、支点反力 R 、および載荷点変位 δ に関する時刻歴応答波形を示している。ここでは、各試験体の重錘衝撃力が励起した時刻を零として、波形がほぼ定常状態に至るまでを示している。

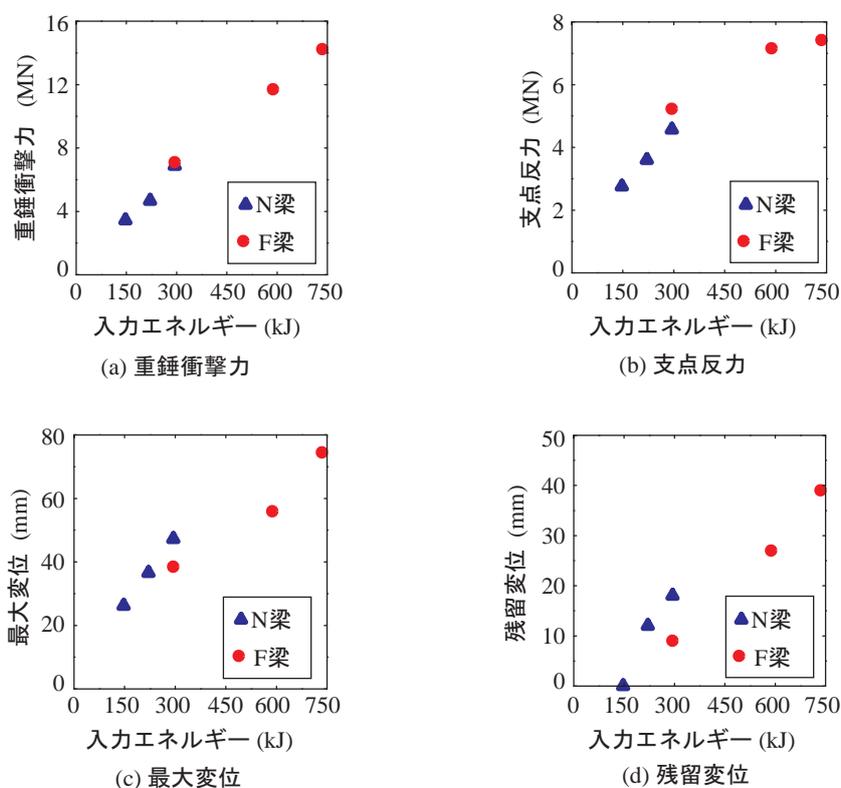


図-6 各種応答値と入力エネルギーとの関係

図より、重錘衝撃力 P は、短繊維混入の有無によらず、大小2つの卓越した波から構成される波形性状を示していることが分かる。2波目は、重錘と敷砂を介したRC梁の相互作用により発生したものであると推察される。すなわち、自由落下によって重錘がRC梁に衝突する場合には、重錘には大きな減速度が生じて、落下速度は大きく低減する。一方、RC梁は減速度に対応した衝撃力を受けて損傷を伴いながら荷点部は下方に変形する。この時点で重錘と梁は一時的に非接触状態になっている可能性がある。その後、重錘は重力的作用により下方に推移し再度梁に衝突するため減速度が生じ梁は2回目の衝撃を受けることとなる。1波目と2波目の間隔が落下高さの増加とともに短く示されている。これは、落下高さの増加に対応して入力エネルギーが増加することにより、重錘のリバウンド量が小さく、より早期に梁に再衝突することによるものと推察される。

各試験体の結果を比較すると、第1波目の振幅は、落下高さ H が大きい場合ほど大きくなる傾向にあることが分かる。

支点反力 R は、短繊維の有無によらず大小2つの卓越した波が連続して励起する波形性状を示している。ただし、重錘衝撃力 P の場合よりも、第1波目が励起する時刻が遅かつ主波動の継続時間が長い。また、第1波目の振幅は、落下高さ H の増加とともに大きくなる傾向にある。N梁の場合には、落下高さ H の増大

に伴って、第2波目が消失する傾向にある。一方、F梁の場合には、落下高さ H の増加とともに第2波目の振幅が大きくなる傾向にある。これは、短繊維の混入により、1) 短繊維の架橋効果が発揮されること、2) 従って、大きな衝撃エネルギーに対してもRC梁の損傷の程度が小さく、3) 2回目の衝突時においても、大きな減衰もなく衝撃力が支点到に伝達されること、によるものと推察される。

荷点変位 δ は、いずれの試験体も正弦減衰波状の分布を示しており、最大振幅および残留変位は落下高さ H の増加に対応して増大する傾向を示している。また、第2波目およびそれに後続する減衰波の周期は、N梁の方がF梁よりも大きいことより、N梁の損傷がF梁よりも大きいことが推察される。

3.4 各種応答値と入力エネルギーとの関係

図-6には、重錘衝撃力、支点反力、最大および残留変位と入力エネルギーとの関係を示している。

図-6(a)より、重錘衝撃力 P は、短繊維混入の有無によらず、入力エネルギーの増大に伴ってほぼ線形に増大していることが分かる。前述の通り、各試験体の破壊性状は大きく異なっていることから、重錘衝撃力をRC梁の耐衝撃性能の評価指標とすることには困難があるものと考えられる。

図-6(b)より、支点反力 R は、N梁の場合には入力エネルギーの増加に伴って線形に増大していることが

表-5 実験および計算結果の一覧

試験 体名	短繊維混入率 V_f (vol.%)	重錘質量 M (t)	限界落下高さ H_{cr} (m)	最大入力エネルギー E_{max} (kJ)	最大支点反力 R_{ud} (kN)
N	0	3	10	294 (1.00)	4.57 (1.00)
F	1.0		25	735 (2.50)	7.42 (1.62)

分かる。一方、F梁の場合には、入力エネルギーが300 kJ程度でN梁よりも大きな支点反力を示している。また、入力エネルギーの増加とともに支点反力が増大する傾向にあるものの、入力エネルギーが750 kJの場合には、その増加率が低下している。これは、前述のように、載荷点近傍に発生した斜めひび割れが大きく開口していることや上縁コンクリートが圧壊の兆候を示していることより、曲げおよびせん断による損傷が連続して生じたことによるものと推察される。このことは、F梁のせん断余裕度が1程度であることと対応している。

図-6(c),(d)より、最大変位および残留変位はほぼ同様の傾向を示している。すなわち、1) N梁は入力エネルギーの増大に伴って変位が線形に増大し、2) F梁は入力エネルギー300 kJ程度において、最大および残留変位がN梁よりも小さく、かつ入力エネルギーの増大とともに両変位が大きくなる傾向を示している。

3.5 短繊維混入による大型RC梁の耐衝撃性向上効果

前節までの実験結果より、N梁は落下高さ $H=10$ mにおいて、アーチ状のひび割れが大きく開口する形でせん断破壊に至っている。また、F梁は落下高さ $H=25$ mにおいて、載荷点近傍に発生した曲げおよび斜めひび割れが大きく開口するとともに、RC梁の動的耐力に相当する最大支点反力も上限値に近づいている。従って、本論文では、NおよびF梁の限界落下高さ H_{cr} をそれぞれ10および25 mとして、両梁の耐衝撃性を評価することとする。ここでは、限界落下高さ H_{cr} から算出した最大入力エネルギー E_{max} とRC梁の動的耐力に相当する最大支点反力 R_{ud} を用いて各梁の耐衝撃性を評価することとする。

表-5には、実験および計算結果の一覧を示している。表より、最大入力エネルギー E_{max} は、短繊維を混入することにより2.5倍向上していることが分かる。一方、最大支点反力 R_{ud} は1.62倍向上している。このように、PVA短繊維を混入することによりRC梁の著しいせん断破壊が抑制され、耐衝撃性が向上することが明らかになった。また、本研究では、著者が提案したせん断耐力に関する短繊維分担分 V_F の算定式(7)を用いて静的せん断耐力を評価し、静的せん断余裕度を評価しているが、実験結果においてもこの評価と同様の傾向を示していることが明らかになった。今後

は、大型RC梁に関する静載荷実験も含めて、提案式の適用性に関する検討を行う必要があるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、PVA短繊維混入RC部材の合理的な耐衝撃設計手法の確立を最終目的として、PVA短繊維混入によるせん断破壊型RC梁の耐衝撃性向上効果を実構造物レベルで検討するため、実ロックシェッドと同程度の断面高さおよび純スパン長を有するRC梁を対象にPVA短繊維混入の有無を考慮したRC梁の衝撃荷重載荷実験を行った。本実験により得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- 1) PVA短繊維を混入することにより、実規模レベルのせん断破壊型RC梁の耐衝撃性を向上可能である。
- 2) 既往の短繊維によるせん断耐力分担分に関する算定式を用いたせん断余裕度の評価式は、実験結果とほぼ対応する。
- 3) 入力エネルギーの観点からRC梁の耐衝撃性を評価すると、短繊維混入率を $V_f=1\%$ とすることにより、耐衝撃性が普通コンクリートの場合の2.5倍程度まで向上する。
- 4) RC梁の動的耐力に相当する最大支点反力は、短繊維混入率を $V_f=1\%$ とすることにより1.6倍程度向上する。

参考文献

- 1) 馬場弘二, 伊藤哲男, 城間博通: 覆工コンクリートのはく離・はく落抑制を目指した鋼繊維補強仕様の確立に関する研究, 日本道路公団試験研究所報告, Vol.39, pp.91-108, 2002
- 2) 馬場弘二, 伊藤哲男, 松本健次, 鳥越信一, 吉武勇, 中川浩二: コンクリート中におけるプラスチック系短繊維の配向状態の評価方法, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.173-180, 2004
- 3) 土木学会: 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案), 1999
- 4) コンクリート工学協会: 高靱性セメント複合材料を知る・作る・使う, 2002
- 5) 伊藤 始, 岩波光保, 横田 弘: PVA短繊維で補強したRCはりのせん断耐力評価に関する実験的

研究, 土木学会論文集, No.774/V-65, pp.123-138, 2004

- 6) 岸 徳光, 田口史雄, 三上 浩, 栗橋祐介: ビニロン短繊維を混入した RC 梁の耐衝撃性に及ぼす短繊維混入率の影響, 構造工学論文集, Vol.50A, pp.1337-1348, 2004
- 7) 田口史雄, 岸 徳光, 三上 浩, 栗橋祐介: PVA 短繊維の架橋効果による RC 梁のせん断耐力向上効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.283-288, 2005
- 8) 岸 徳光, 三上 浩, 竹本伸一, 栗橋祐介: PVA

短繊維混入による軽量コンクリート製 RC 版の押し抜きせん断耐力向上効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, pp.1381-1386, 2006

- 9) 岸 徳光, 三上 浩, 安藤智啓: せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃性に関する実験的研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 45A, pp.1689-1699, 1999
- 10) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 2007 年制定

(2010 年 9 月 16 日受付)