

3次元複合材料を緩衝材に用いた 橋梁の耐震補強に関する一考察

川畑智亮¹・吉松慎哉²・桐川潔³・作田健⁴・香月智⁵

¹正会員 工修 株式会社ピーエス三菱 開発技術部（〒104-8215 東京都中央区銀座七丁目16-12）

²正会員 株式会社ピーエス三菱 開発技術部（〒104-8215 東京都中央区銀座七丁目16-12）

³正会員 工修 株式会社ピーエス三菱 開発技術部（〒104-8215 東京都中央区銀座七丁目16-12）

⁴正会員 工修 防衛大学校 建設環境工学科（〒239-8686 神奈川県横須賀市走水一丁目10-20）

⁵正会員 工博 防衛大学校 建設環境工学科（〒239-8686 神奈川県横須賀市走水一丁目10-20）

1. はじめに

施工条件が厳しい河川内での橋梁の耐震補強において、一般的な仮締め切りを伴う橋脚補強方法では工費が極端に高くなるため、より低コストな耐震補強技術の開発が求められている。ところで、近年、多径間橋梁において、桁衝突による地震慣性力の低減効果を考慮した耐震補強技術の研究¹⁾が行われている。これらは、今までの橋脚補強のように耐力を向上させる代わりに、図-1に示すように上部構造の変位を抑制することで地震時の各橋脚にかかる負担を低減させ、橋脚補強の必要性を無くす、または低減する方法である。このような考えに基づけば、前述の河川内での橋脚補強問題も解決されるため、今後、このような耐震補強方法が増加することが予想される。

筆者らは、桁遊間に天然ゴムの10倍以上のエネル

ギー吸収量を持つ3次元複合材料（写真-1）を緩衝材として使用し、上部構造の応答を低減する耐震補強工法（図-1）の開発を実施している²⁾。この際、補強効果の推定は静的載荷試験より得られた3次元複合材料の特性を、図-2に示すようにバネモデル化し、時刻歴応答解析により検討を行ってきた³⁾。しかし、3次元複合材料は特殊な材料であるため、地震時における衝撃的な荷重についての応答履歴が静的載荷試験時と同等であるかについては確認されていない。また、地震時におけるエネルギー吸収能についても確認されていない。

そこで、本研究は、上部構造の応答を低減する耐震補強工法を確立するために、3次元複合材料の応答履歴とエネルギー吸収能について実験的に検討し、設計法の基礎資料とするものである。

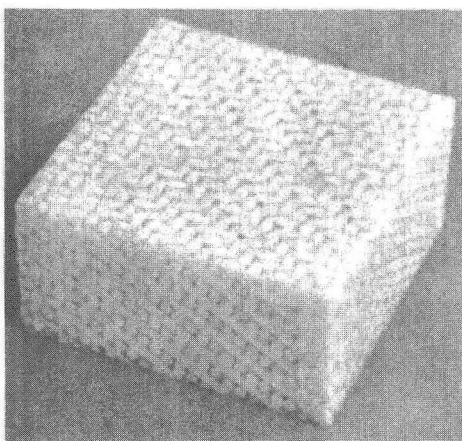


写真-1 3次元複合材料

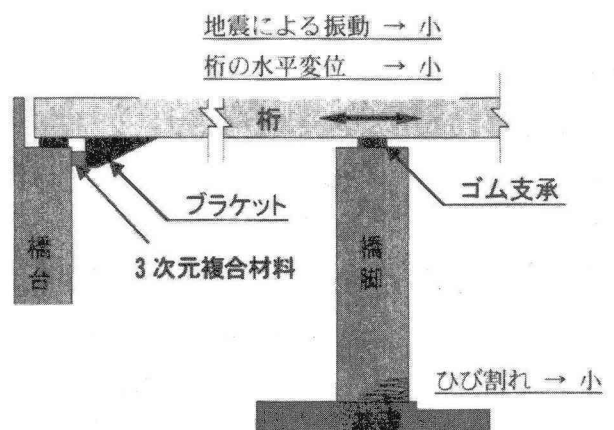


図-1 3DSole 耐震補強のイメージ

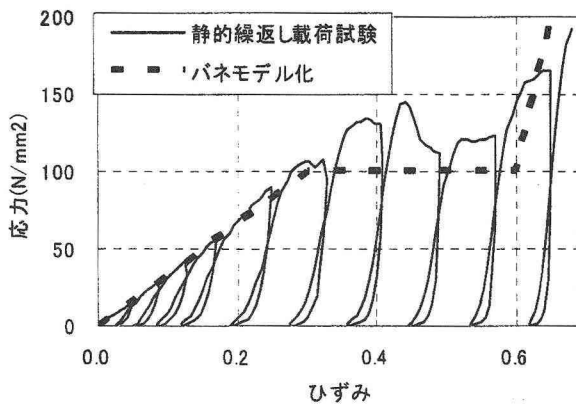


図-2 3次元複合材料のパネモデル

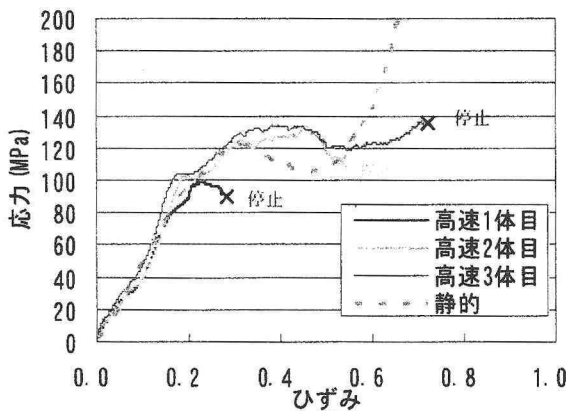


図-4 応力-ひずみ関係 (高速载荷実験)

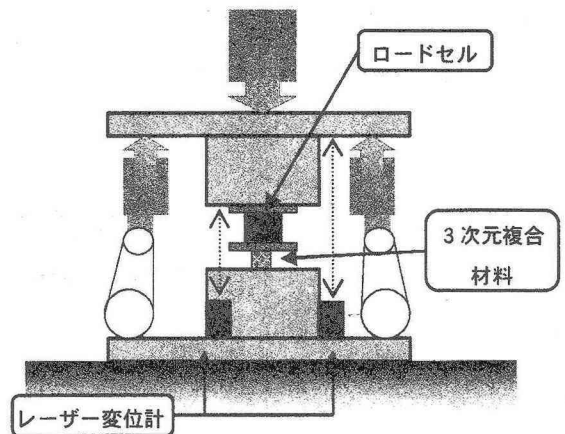


図-3 高速载荷試験装置概略図

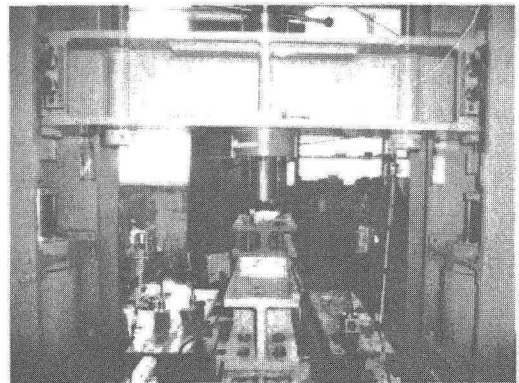


写真-2 試験状況

2. 高速载荷実験

(1) 実験装置

写真-2に示す高速载荷実験装置³⁾を用いて、供試体を速度強制変形させる高速载荷実験を行った。

(2) 計測項目

実験要領の概要を図-3に示す。衝撃力を载荷治具に取り付けたロードセルにより計測し、供試体の変形量は、载荷治具と基盤の相対変位をレーザー式変位計により計測し求めた。

(3) 実験ケース

50×50×50mmの3次元複合材料3体について、実験装置の最大速度である4.0m/secで载荷を行った。この载荷速度は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編⁴⁾を参考にした橋梁の時刻歴応答解析結果の最大速度よりも大きい。なお、1体は弾性限界点付近を狙って変位15mm、次は、再硬化点を狙って30mm、最後の1体は再硬化後を狙って40mmまで载荷した。

(4) 実験結果

高速载荷実験による応力～ひずみ関係を図-4に示す。一般に高分子材料やゴム材料では、ひずみ速度効果により、高速変形状態では、その応力～ひずみ関係が変わる。しかし3次元複合材料の場合、静的に载荷した実験結果と比較して、初期勾配および降伏域の応力が、静的载荷実験結果とほぼ等しく、速度に対する影響が無いことがわかる。

3. 桁間衝突実験

(1) 実験装置

エアフローティング重錘衝突装置を用いて、桁間衝突実験を行った⁵⁾。この実験装置は、図-5および写真-3に示すもので、底面への摩擦がないので、底面へのエネルギー逸散がなく、桁間に設置された衝撃材の緩衝力緩和効果やエネルギー吸収能を精度良く評価することが可能である。ちなみに、衝突鋼材および被衝突鋼材の重量はそれぞれ4.90kNである。

(2) 計測項目

エネルギー吸収能を確認するために、衝突前後の衝突鋼材および被衝突鋼材の速度を計測する。計測

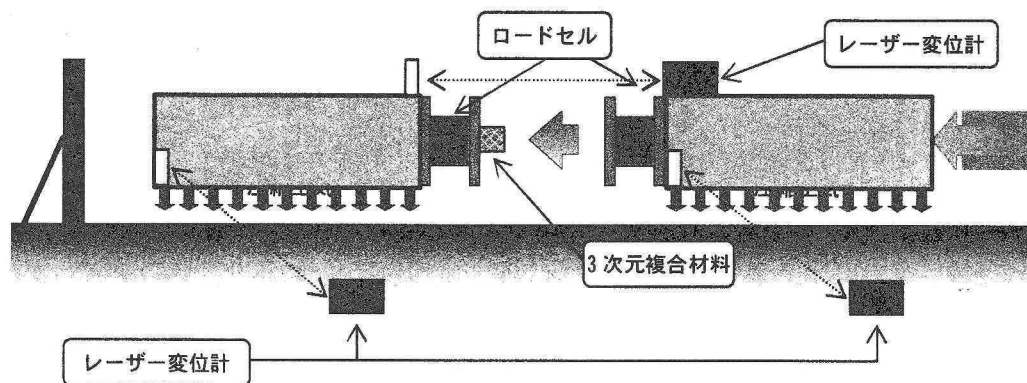


図-5 桁間衝突試験装置概要

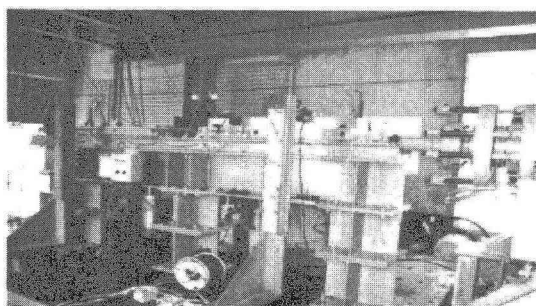


写真-3 試験状況

表-1 実験ケース

略名	供試体 サイズ	目標速度 (m/sec)	個数
I-1.0	30×30×30 mm	1.0	3
I-3.0	30×30×30 mm	3.0	3
I-1.0W	30×30×30 mm	1回目:1.0 2回目:1.0	1
I-3.0W	30×30×30 mm	1回目:1.0 2回目:3.0	1
I-1.0C	φ50×100 mm	1.0	1

手法としては、図-5に示す位置にレーザー式変位計を設置し、得られた変位～時間関係を時間で微分することにより算定した。また、衝撃力についてもロードセルにより計測した。

(3) 実験ケース

3次元複合材料およびコンクリート供試体（圧縮強度90.1MPa）について衝撃実験を行った。実験ケースを表-1に示す。速度の違いと繰り返し衝突がエネルギー吸収能に与える影響を確認するため、衝突速度と衝突回数を実験パラメータとし、目標速度を、1m/secと3m/secに設定した。

(4) 実験結果

図-6に衝突実験におけるエネルギー吸収量～衝突速度関係を示す。ここでエネルギー吸収量（ ΔE ）は重錘内のひずみエネルギーを無視して次式で求める。

$$\Delta E = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 - \frac{1}{2} \{ m_1 v_1'^2 - m_2 v_2'^2 \} \quad (1)$$

ここで、 m_1 ：衝突重錘の質量、 m_2 ：被衝突重錘の質量、 v_1 ：衝突重錘の衝突前速度、 v_1' ：衝突重錘の衝突後速度、 v_2' ：被衝突重錘の衝突後速度

参考までに、高速載荷実験による荷重～変位関係を積分して得られる推定エネルギー吸収量～変位関係を図-7に示す。同図には、エネルギー吸収量が与

えられた場合に相当する応答域と供試体に生ずる最大荷重の推定値を示している。これらの関係により、次のことがわかる。例えば、図-6における衝突速度1.65m/secにおいては（I-1.0-③）、エネルギー吸収量は0.301kJであり、これを図-7より推定すると、供試体は弾性応答域にあり、最大荷重は66.2kNと推定される。表-2には、図-7による推定法によって求めた最大荷重を計測値と比較して示す。計測値は推定値より大きな値を示す傾向がある。これは、図-7による推定法が、往路の荷重～変位関係により消費するエネルギー全てを吸収エネルギーと仮定しており、復元過程のエネルギーについて考慮できていないことによるものと思われ、今後、検討が必要である。

図-8にエネルギー吸収率～衝突速度関係を示す。ここで、エネルギー吸収率とは、衝突前運動エネルギーに対する吸収エネルギーの比（ $= \Delta E / 0.5 m_1 v_1^2$ ）である。エネルギー吸収率の値は、衝突速度に影響されず、同等のエネルギー吸収効果を示すことがわかる。

次に、繰り返し衝突時におけるエネルギー吸収能については、図-5および図-7の◇に示すように、それまでの応答履歴が弾性応答域であれば、初回衝突時と同等のエネルギーを吸収することがわかる。

最後に、緩衝力については、コンクリートとの1ケースのみの比較ではあるが、緩衝効果を有することもわかった。

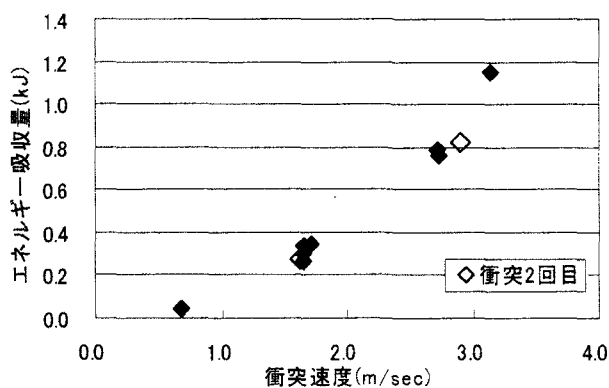


図-6 エネルギー吸収量～衝突速度関係

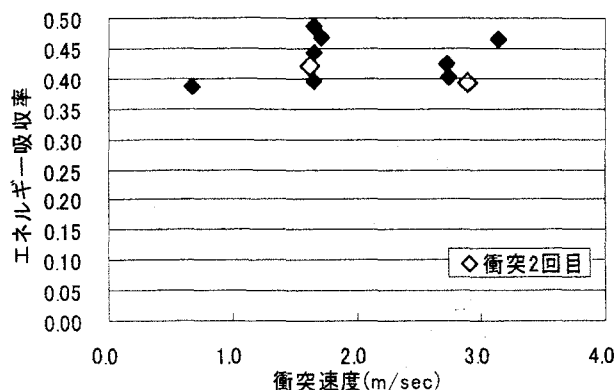


図-8 エネルギー吸収率～衝突速度関係

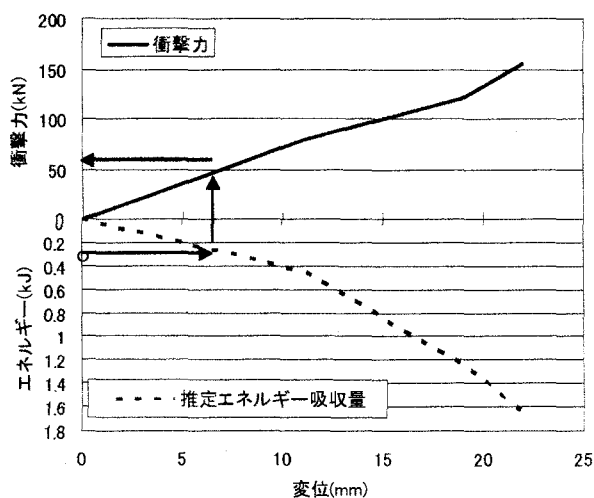


図-7 エネルギー吸収量と荷重～変位関係

表-2 衝突前後の鋼材速度と衝撃力

略名	鋼材速度(m/sec)			衝撃荷重(kN)	
	衝突前	衝突後		実測値 推定値	
	衝突鋼材 v_1	衝突鋼材 v_1'	被衝突鋼材 v_2'		
I-1.0 (①～③)	1.65	0.66	1.10	62	63
	1.71	0.63	1.07	65	71
	1.65	0.70	1.02	72	66
I-3.0 (①～③)	3.15	1.41	1.82	126	116
	2.73	1.48	1.44	120	100
	2.74	1.39	1.60	126	98
I-1.0W*	1.65	0.62	1.01	73	70
	1.63	0.69	1.02	79	64
I-3.0W*	0.67	0.25	0.47	28	25
	2.90	1.25	1.89	119	101
I-1.0C	1.71	-	-	114	-

※上段：1回目，下段2回目

4. まとめ

本研究では、3次元複合材料の高速载荷実験と、桁間衝突実験により、3次元複合材料の地震時における応答履歴とエネルギー吸収能について検討を行った。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 高速载荷実験より、3次元複合材料は衝突速度に影響をされることなく、静的载荷実験結果と同様の応答履歴を示す。
- (2) 桁間衝突実験より、3次元複合材料は衝突速度に影響をされることなく、同等のエネルギー吸収効果を示す。
- (3) 桁間衝突実験より、3次元複合材料は弾性応答域では繰り返しエネルギーを吸収することが可能である。
- (4) 桁間衝突実験より、3次元複合材料は、衝撃力の緩衝効果を有する。

本研究では、3次元複合材料の地震時における物理性状について、以上のような結論が得られた。今後

は、解析的な検討を加え、3次元複合材料の定量的な評価を行い、耐震補強工法の設計手法にフィードバックさせていく予定である。

謝辞：本実験を行うにあたり、防衛大学校理工学研究科学生 白石博文氏および坊原尚紀氏には、多大な協力を得ました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田崎賢治，幸左賢二，安部宏典，新井信博：橋の桁端部に間詰め材を充填する地震慣性力の低減効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.2，pp. 375-382，2004。
- 2) 桐川潔，久保明英：衝突させて3DSoleを潰し減衰させる新しい耐震補強方法，土木学会全国大会第59回年次学術講演会講演概要集，I-211，2004。
- 3) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，平成6年1月
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書動解説V耐震設計編，平成14年3月
- 5) 梶田幸秀，北原武嗣，西本安志，香月智：エアーフローティング装置を用いたゴム製緩衝材の桁間衝突実験，土木学会地震工学論文集，論文No.31，2003.12。