

多々羅大橋耐震補強における国内最大規格の制震ダンパー性能試験

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○下瀬 恒太 金田 崇男
株式会社川金コアテック 正会員 姫野 岳彦
株式会社 IHI インフラシステム 非会員 大口 真司

1. はじめに

海峡部長大橋である本四連絡橋は、代替路がなく重要構造物であることから、耐震補強を計画的に進めている。しまなみ海道（西瀬戸自動車道）に位置する多々羅大橋は、東南海・南海地震、芸予地震等の大規模地震への対応として、所要の耐震性能を確保するため、制震ダンパーやせん断パネルストッパーを設置することとなった。所要の耐震性能を満足させるために必要な制震ダンパーは、ストローク $\pm 950\text{mm}$ 、減衰抵抗力 $2,000\text{kN}$ と国内最大規格となり、実大サイズによる性能試験の前例が無いことから、大型震動台実験施設による実機を用いた性能試験を行った。本稿では、多々羅大橋耐震補強に用いる制震ダンパーの実機による性能試験方法及び試験結果について報告する。

2. 多々羅大橋の耐震補強設計

2.1 橋梁概要

多々羅大橋は、生口島と大三島を結ぶ橋長 $1,480\text{m}$ 、中央支間長 890m の3径間連続複合箱桁斜張橋であり、1999年に供用を開始した本四連絡橋で最長の斜張橋である。橋軸方向の支承条件は、塔部（2P・3P）でゴム支承による弾性固定、他の部分では可動支承となっており、橋軸方向に揺れやすい構造である。橋軸直角方向の支承条件はすべて固定支持であり、塔部（2P・3P）ではウインドダブ、端橋脚部（1A・4P）には鋼角ストッパーが設置されている。4Pでは隣接高架橋と共通の大型伸縮装置（伸縮量： $\pm 950\text{mm}$ ）を介して接している。

2.2 耐震性能照査及び耐震補強対策

耐震性能照査の結果より、橋軸方向の移動量が大きく、4P桁端で桁と大型伸縮装置が衝突し、隣接高架橋が押し出され、落橋する可能性があることが確認された。

緊急輸送路としての機能確保及び隣接橋の落橋を防ぐため、橋軸方向の移動量を抑制し、大型伸縮装置を損傷させない対策を行うこととし、塔部（2P・3P）に制震ダンパー（計8基）、橋脚部（P1・P2・P3・4P）にせん断パネルストッパーを設置することとした（図-1）。

3. 制震ダンパー性能試験

3.1 試験方法

所要の耐震性能を満足させるために必要なダンパー規格は、減衰抵抗力 $2,000\text{kN}$ （ 0.5m/s での加振時）、設計最大速度 1.59m/s 、地震時最大変位 $\pm 780\text{mm}$ と国内最大である。性能試験については、構造物施工管理要領（NEXCO3社）²⁾等を参考とし、実機を用いた性能試験を行うこととした。

性能試験に用いた装置を写真-1に、ダンパーの概略図を図-2に示す。上記ダンパー規格に必要な加振能力を有する装置は、国内ではE-ディフェンス（実大三次元震動破壊実験施設）のみであった。試験はダンパー1基を対象に、震動台に制震ダンパーを固定し、水平加振機を用いて一軸方向にのみ揺れを発生させた。計測方法に関しては、ロードセル及びレーザー変位計を使用し、ダンパーの減衰抵抗力値及び変位量を測定した。

載荷試験条件を表-1に示す。加振ケースは、振動数を 0.33Hz で一定とし、変位振幅を変化させることで、

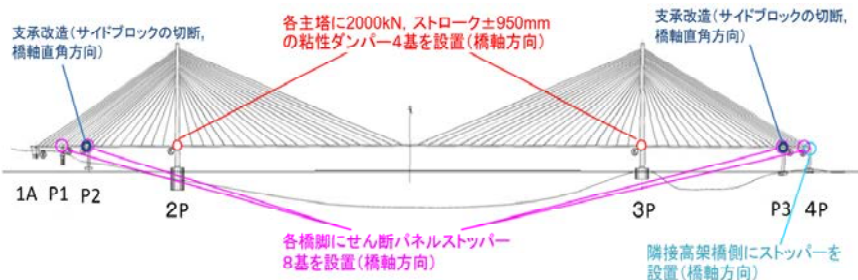


図-1 耐震補強箇所

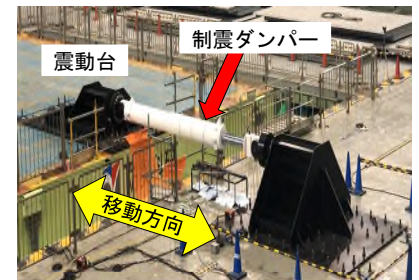


写真-1 試験装置

キーワード 耐震補強, 制震ダンパー, 性能試験, 耐震照査, 斜張橋, 多々羅大橋

連絡先 〒722-0073 広島県尾道市向島町 6904（向島インターチェンジ内） TEL 0848-44-3700

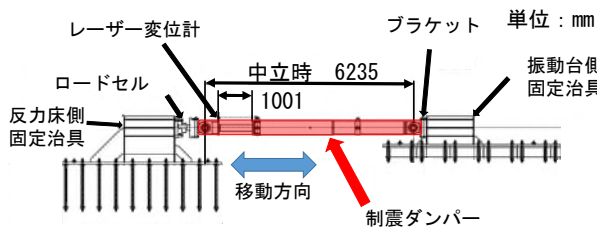


図-2 ダンパー及び試験概略図

速度による抵抗力の変化を検証した。入力波形には正弦波を用い、計3回の加振を行った。正弦波加振時の変位時刻歴波形より、加振時の震動台と制震ダンパー本体の変位応答は同等の波形を示しており、ダンパー本体に対して加振の制御が可能であることを確認した。

3.2 試験結果

各加振ケースにおける制震ダンパーの減衰抵抗力-変位関係を図-3に示す。加振回数が増えるにつれ、減衰抵抗力は低下した。これはダンパー内部に充填された粘性体の温度上昇によるものと考えられる。

表-2は加振ケース2における各载荷回数別の減衰抵抗力を示す。減衰抵抗力を、1ループ中に生じる正負それぞれの最大抵抗力の平均値として評価した結果、加振ケース2における減衰抵抗力は、設計値に対し+7%~+15%程度となった。

今回の試験におけるダンパー性能値は、減衰抵抗力が最大となる1ループ目の値も含めた3ループの平均値とした。これは、ダンパーの取付部への影響を安全側で考慮するためである。図-4に実験回帰曲線を示す。最大速度時におけるダンパーの減衰抵抗力は、設計抵抗力に対して+12%程度となった。

なお、性能試験結果が耐震補強設計時における想定を超えたため、今回の1基の試験で得られた減衰抵抗力(+11.6%)に残り7基の製作で生じうるばらつき等を考慮した減衰抵抗力(+20%)を用いて地震応答解析を行い、耐震設計に反映した。

4. おわりに

国内最大規格の制震ダンパーに対して、実機による性能試験を行った結果、約1.6m/s時に設計抵抗力より+12%程度の減衰抵抗力が確認された。これに対し、ダンパーの取付部等への影響を適切に考慮するため、各種ばらつきを考慮した減衰抵抗力を設定し、耐震設計に反映した。

参考文献

- 1) 金田崇男, 西谷雅弘 (2021), 多々羅大橋の耐震補強設計, 高速道路と自動車, Vol.64, No.10, pp.15-18.
- 2) 高速道路総合技術研究所: 構造物施工管理要領, 2020.7.

表-1 試験条件

加振ケース	入力波形	振動数 (Hz)	変位振幅 (mm)	最大速度 (m/s)	最大減衰抵抗力 (kN)
1	正弦波※)	0.33	240	0.498	1998
2			780	1.617	2590

※) 正弦波の繰返し载荷回数は3回 (3波)

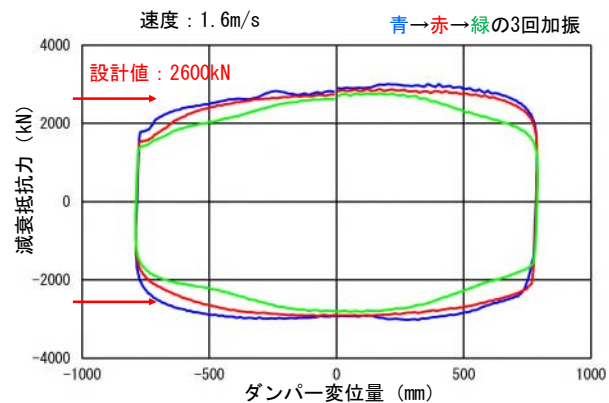
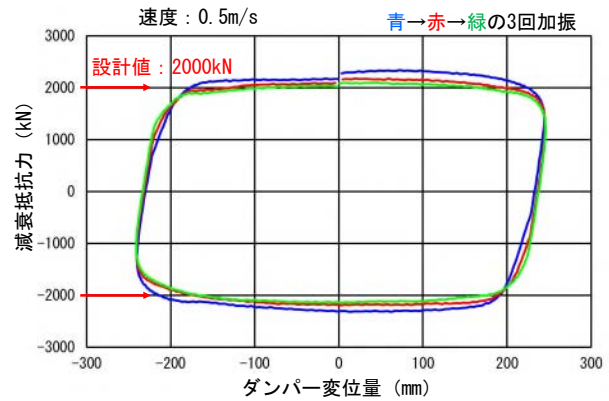


図-3 減衰抵抗力-変位関係

表-2 加振ケース2における試験値

载荷回数	変位 (mm)	最大速度 (m/s)	減衰抵抗力		
			設計値 (kN)	実測値 (kN)	変化率 (%)
1	787.7	1.655	2602	3014※)	+15.8
2	788.6	1.645	2598	2900※)	+11.6
3	790.2	1.642	2598	2791※)	+7.4
平均	—	—	—	—	+11.6

※) 1ループ中における正負それぞれの最大抵抗力の平均値

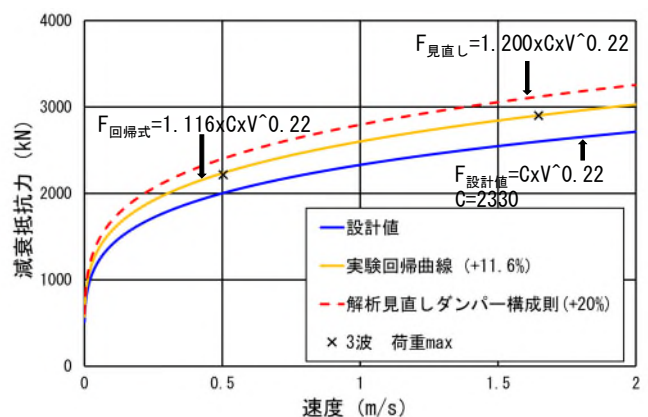


図-4 設計値との比較