

鋼中路式アーチ橋における 鋼製制震ダンパーを用いた耐震性向上に関する検討

徳川和彦¹・加藤久喜¹・前河隆太¹

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 （〒451-0046 名古屋市西区牛島町2番5号トミタビル）

1. はじめに

アーチ橋は、¹⁾道路橋示方書（H14.3）に記述される「地震時挙動が複雑な橋」に該当し、動的解析による耐震性能の照査を行う必要がある。鋼アーチ橋に対し上部工の塑性化を許さないとすると、エネルギー吸収部材が存在せず、常時決定断面から大幅な断面増厚は避けられない。そのため、非常に不経済な断面構成となることが多い。よって鋼アーチ橋では、いかにして地震時に発生するエネルギーの吸収を図るかが問題である。道路橋示方書では地震の影響の低減を期待する構造又は装置を用いる場合について以下のように規定されている。

- 1) 簡単な機構で、力学的な挙動が明確な範囲で使用する。
- 2) レベル2地震動による作用に対して安定して機能を発揮すること。
- 3) 動的解析を用いて橋全体としての振動特性を評価して耐震性能の照査を行うこと。

そこで本検討では、鋼中路式アーチ橋を対象に、地震時のエネルギー吸収を図り、断面増厚を最小限にとどめることを目的とし、地震の影響の低減を期待する構造として、2次部材に鋼製制震ダンパーを設置した。そして、その応答低減効果について、ダンパー設置位置に着目し検討を行った。

2. 橋梁概要

検討対象は、橋長128m、アーチ支間115mの鋼中路式固定ローゼ橋である。対象橋梁の一般図を図-1に示す。また、表-1に橋梁諸元をまとめた。

表-1 橋梁概要

上部工形式	鋼中路式ローゼ橋
アーチ支承条件	固定
橋 長	128m
アーチ支間	115m
スパンライズ比	1/6.11
標準幅員	10.75m
下部工形式	逆T式橋台
基礎形式	深礎基礎

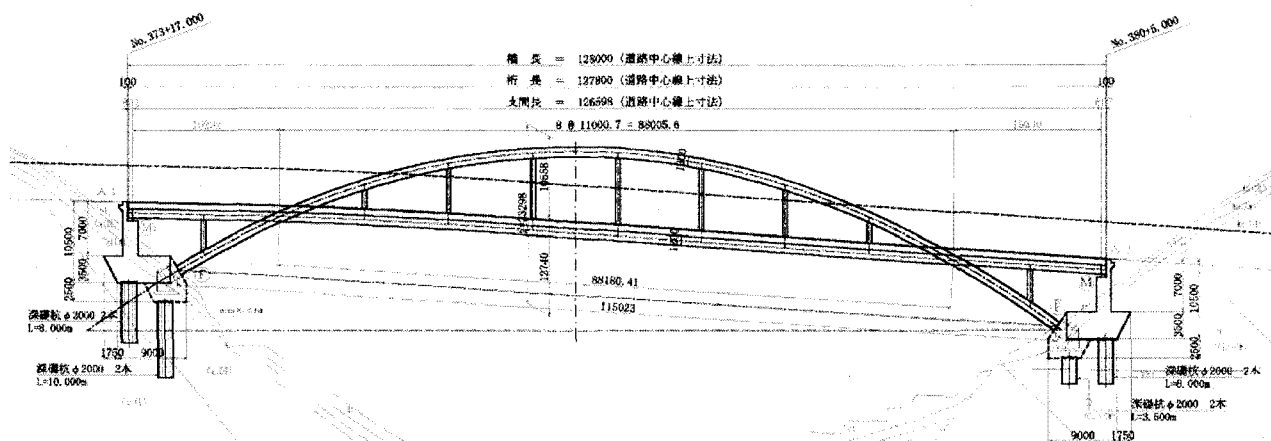


図-1 橋梁一般図

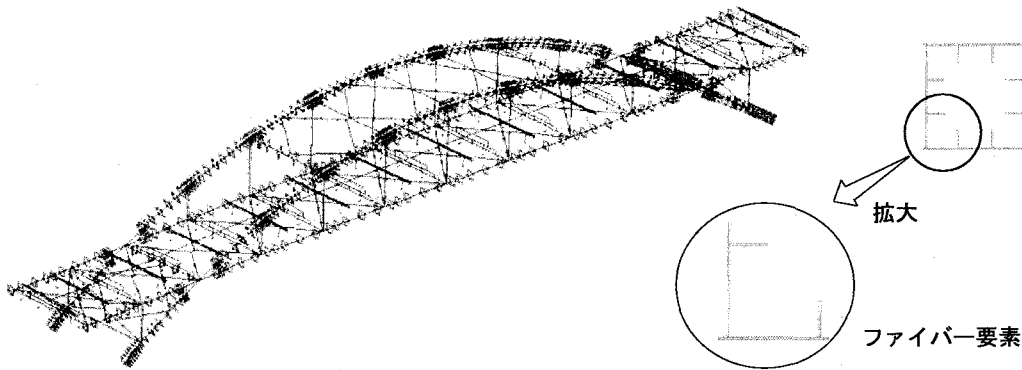


図-4 解析モデル図

3. ダンパーの条件と選定

H14道示に示される地震の影響の低減を期待する装置の条件を満たすため、ダンパーに関する条件を以下のように設定した。

- 1) レベル2地震動にのみ機能するダンパーとする。
- 2) 補修を考慮し、基本的に2次部材に設置する。

ダンパーの種別は、その減衰機構から履歴型ダンパー、粘性型ダンパーなどに分類される。本検討では、簡単な機構で、かつ経済性に優れ、建築分野では実績の多い極軟鋼（低降伏点鋼）を用いた履歴型せん断ダンパーを採用した。

極軟鋼は図-2に示す応力ひずみ関係からわかるように通常用いられる鋼材に比べ、降伏点が低く、かつ優れた伸び特性を有した材料である。規格としては、降伏耐力が100N級と225N級の2種類がある。本検討の中では、図-3のように繰返し載荷時における履歴特性が安定している225N級の鋼材を採用する。

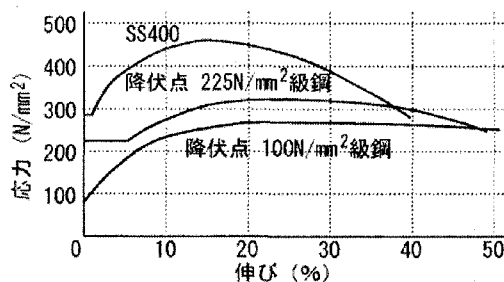


図-2 極軟鋼の応力ひずみ曲線

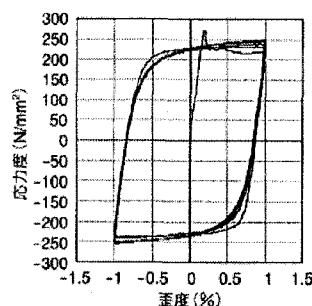


図-3 繰返し載荷時における履歴特性（225N級）

4. モデル化

(1) 解析手法

鋼アーチ橋の地震応答解析にはさまざまな手法が用いられているが、本検討では、動的解析手法として、ファイバーモデルによる3次元非線形動的解析を実施した。ファイバーモデルは、以下の点で鋼アーチ橋の解析手法としては有効である。図-4にモデル図を示す。入力地震動は、H14道示耐震設計編に基づき、既往の強震記録を振幅調整したレベル2タイプⅡ（Ⅰ種地盤）を用いた。

- 1) 鋼材の正確な応力ひずみ曲線を設定し、材料非線形性を考慮できる。
- 2) アーチリブの軸力変動および、2軸曲げの影響を考慮できる。

(2) 主部材のモデル化

本解析では、アーチリブ・補剛桁等の主構造だけでなく、床版および床組みについてもファイバー要素としてモデル化を行っている。

床版等のモデル化については、ファイバーモデルによる鋼アーチ橋の解析論文等²⁾³⁾を参考とした。

材料特性としては、鋼材は2次勾配を $E/100$ とするバイリニアモデルとし、硬化則は移動硬化則とする。

(3) ダンパーのモデル化

ダンパー部のモデル化は、図-5に示すように、拘束条件として、せん断方向（橋軸直角方向）を低降伏点鋼の非線形特性を有したバネでモデル化し、他の方向成分は拘束としてモデル化を行った。

低降伏点鋼の硬化則は、一般的なバイリニアモデルの移動硬化則で設定する。

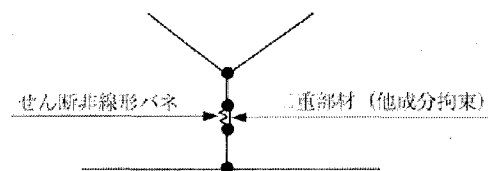


図-5 せん断ダンパーのモデル化

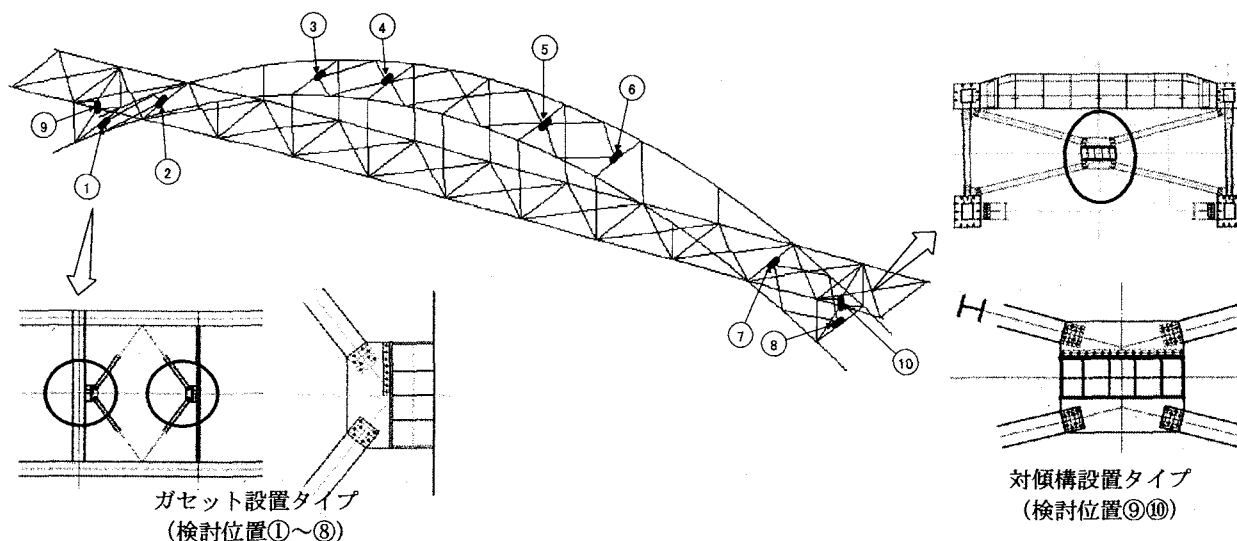


図-6 ダンパー設置位置

(4) 振動特性

表-2に固有値解析結果を示す。固定アーチであるため、周期が短いことがわかる。

表-2 固有値解析結果

モード	振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
			橋軸方向	直角方向	鉛直方向
1	0.900	1.111	-18.7	0.0	-0.3
2	1.515	0.660	0.0	33.3	0.0
3	2.018	0.495	-0.2	20.3	-2.2
4	2.044	0.489	2.0	1.8	23.1
5	2.620	0.382	-25.4	0.0	1.1
6	2.995	0.334	0.7	0.0	27.5
7	4.137	0.242	-0.2	0.5	0.0
8	5.322	0.188	-1.4	0.4	0.0
9	5.587	0.179	-21.0	0.0	-2.3
10	5.947	0.168	4.6	0.1	-16.3

表-3 ダンパーの諸元

	設置部位	幅 [mm]	板厚 [mm]	σ_y [N/mm ²]	ε_y [N/mm ²]
①	A1側	1110	9	225	129.9
②	アーチ基部	1340	9	225	129.9
③~⑥	橋門構	1080	9	225	129.9
⑦	A2側	1270	9	225	129.9
⑧	アーチ基部	1050	9	225	129.9
⑨、⑩	対傾構	1080	9	225	129.9

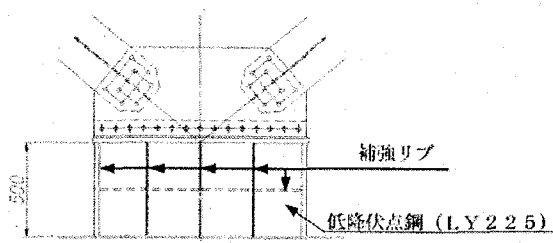


図-7 ダンパー形状

5. ダンパー設置位置の検討

(1) ダンパー設置位置

ダンパー構造の条件を満たし、かつダンパーによる制震効果が高い位置を考慮し、図-6に示す位置で、レベル2地震動によるダンパー位置の検討を行う。

各位置におけるダンパーの断面形状は、常時およびレベル1地震時には塑性化せず、ダンパーとしての機能を発揮しないように、表-3および図-7に示すとおりとした。ダンパー無しの場合、橋軸方向はほとんどの部材が塑性化しないことから、検討は直角方向に着目して行い、検討ケースは、ダンパー無しを含め、アーチ基部、橋門構、対傾構の3ヶ所について、ダンパーを追加していく方法で、計4ケース行う。解析結果については最大変形量、最大ひずみの2項目について評価する。

(2) 検討結果

表-4～表-5に最大応答変位、最大ひずみの各項目についての結果を示す。各ケースとも、ダンパーを追加するに従って、応答が減少していることがわかる。但しCASE0は基部アーチ支材の変形が大きく、構造的に不安定となっていた。

また図-8～図-12に示す、せん断ダンパーのせん断力-水平変位関係から、アーチ基部側のパネルにおけるエネルギー吸収が大きいたことがわかる。これは、基部から橋門構にかけて、せん断変形が大きくなること、そして、構造上床版質量による慣性力の影響が大きく、床版より基部側の部材で軸力が卓越することから、(質量)×(変位)の値が大きくなりダンパーが効果的に働くためと考えられる。よってダンパーは床版より下面位置に設置した方が、制震効果が高くなることがわかる。

表-4 各位置における最大応答変位 [mm]

ケース名	ダンパー 設置位置	アーチ頂部	補剛桁 支間中央	剛結部		支間中央部 低減率(%)
				A1側	A2側	
CASE-0	無し	441	192	80	89	—
CASE-1	①、②、⑦、⑧	484	206	84	93	100.0
CASE-2	①～⑧	490	195	78	87	94.7
CASE-3	①～⑩	454	191	74	83	92.7

表-5 着目点における最大ひずみ

着目点	解析ケース	ε	ε_y	$\varepsilon/\varepsilon_y$	低減率(%)
アーチ基部	CASE-0	-0.002792	0.001775	1.573	—
	CASE-1	-0.002792	0.001775	1.573	100.0
	CASE-2	-0.002774	0.001775	1.563	99.4
	CASE-3	-0.002700	0.001775	1.521	96.7
剛結部	CASE-0	-0.00884	0.001775	4.980	100.0
	CASE-1	-0.007533	0.001775	4.244	85.2
	CASE-2	-0.006086	0.001775	3.429	68.8
	CASE-3	-0.005401	0.001775	3.043	61.1

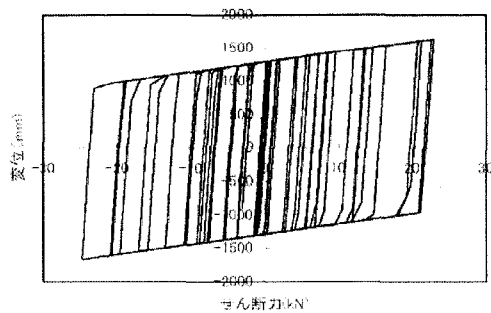


図-8 セン断力-水平変位履歴曲線 (①位置)

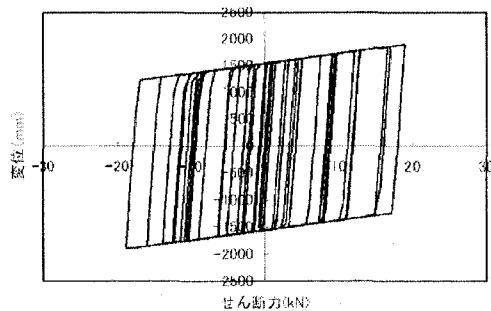


図-9 セン断力-水平変位履歴曲線 (②位置)

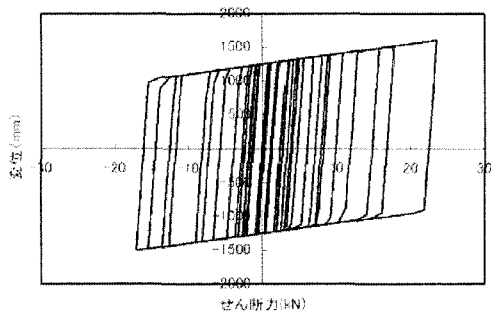


図-10 セン断力-水平変位履歴曲線 (③位置)

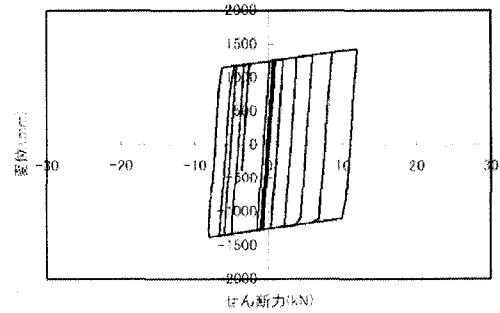


図-11 セン断力-水平変位履歴曲線 (④位置)

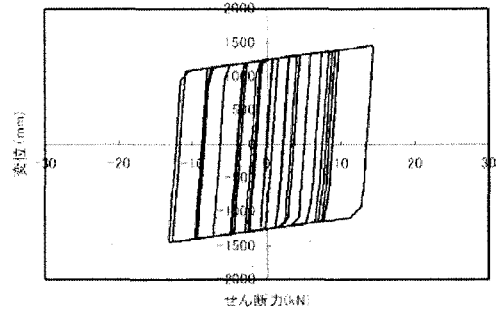


図-12 セン断力-水平変位履歴曲線 (⑨位置)

7. まとめ

本検討では、耐震性能向上の手法として、鋼製制震ダンパーを用い、3次元ファイバーモデルによる中路式鋼アーチ橋の耐震検討を行い、ダンパー設置位置による効果を確認した。本検討で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) ダンパーは、床版を含めた質量とせん断変形が大きくなる、床版より下面位置に設置した方が、有効な制震効果を得られる。
- (2) 基部・橋門構・対傾構にダンパー設置した場合、アーチリブ剛結部で40%程度の応答低減が確認できた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編 2002.3
- 2) 野中哲也，宇佐美勉，吉野広一，坂本佳子，鳥越卓志：上路式鋼アーチ橋の大地震時弾塑性挙動および耐震性向上に関する研究，土木学会論文集.NO731 p31-49, 2003.4
- 3) 巢山藤明，落合稔，野中哲也，真子幸也，坂本佳子：ファイバーモデルを用いた鋼構造物の耐震設計法に関する一考察，橋梁と基礎，Vol.34, NO.9, pp.32-40, 2000.9.