

低降伏点鋼を用いた鋼 π 形ラーメン橋の耐震補強

安田政彦¹・伊津野和行²・最田扇矢³・新名裕³・丸尾和歌子³

¹非会員 奈良県 宇陀土木事務所（〒633-2166 宇陀市大宇陀区迫間 90-1）

²正会員 工博 立命館大学教授 理工学部都市システム工学科（〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1）

³非会員 株式会社阪神コンサルタンツ 道路・構造グループ（〒541-0042 大阪市中央区今橋 1-6-19）

1. はじめに

道路ネットワークの耐震性を確保する目的として、緊急輸送道路の橋梁を中心に耐震補強対策が積極的に行われ、比較的小規模な桁橋などは概ね完了した状況にある。一方、アーチ橋、ラーメン橋などのいわゆる特殊橋梁は、耐震補強工事費が多大であること、および、複雑な地震応答特性を有することから、的確な耐震補強対策を立案するのが容易ではなく、実工事に至った例は少ない。

そこで本論では、特殊橋梁である既設の鋼 π 形ラーメン橋に対して、免震・制震デバイスの比較検討により、橋軸方向の制震デバイスとしてせん断パネル型制震ストッパーを選定し、橋軸直角方向の制震デバイスとして既設橋脚横構を座屈拘束型ブレースに取り替える耐震補強対策を提案した。ともに低降伏点鋼を用いた制震デバイスであり、解析による地震応答の低減効果と耐震補強の適用性について検討した結果を報告する。

2. 対象橋梁および構造概要

対象橋梁は、昭和39年の道路橋示方書によって設計・施工されており、現在の道路橋示方書の耐震性能は満足しないと判断される。設計条件を表-1に、構造モデル図を図-1に示す。

表-1 設計条件

橋梁形式	鋼 π 形ラーメン橋
橋長	60.200m
支間長	17.700m+24.000m+17.700m
幅員	総幅員 8.700m, 有効幅員 8.000m
支承条件	桁端部：可動支承 橋脚基部：ヒンジ支承
地盤種別	I種地盤
適用示方書	道路橋示方書（昭和39年8月）

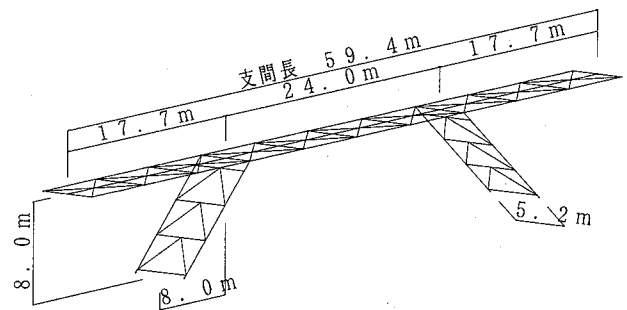


図-1 構造モデル

表-2 解析条件

解析モデル	3次元ファイバーモデル
入力地震動	I種地盤用 Type I・Type II 波形3波
解析手法	直接積分法
積分手法	Newmark β 法
減衰	Rayleigh 減衰

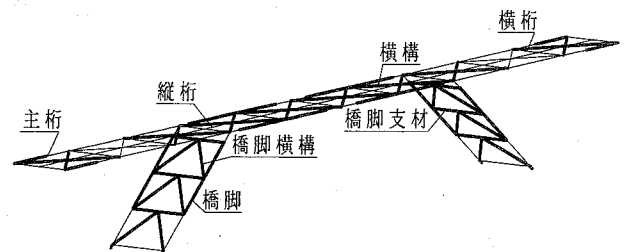


図-2 塑性化する部材

3. 耐震性能照査

耐震性能の照査は表-2の解析条件より、動的解析（時刻歴応答解析法）で評価した。また、解析プログラムはMIDAS/Civilを使用した。

本橋は鋼I形断面であり、降伏後の非線形性が期待できないため、降伏ひずみおよび降伏応力度を超えた部材を塑性化した部材と判定した。図-2に示す太線箇所が塑性化した部材である。

表-3 橋軸方向の免震・制震デバイス比較検討表

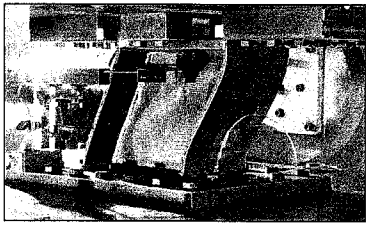
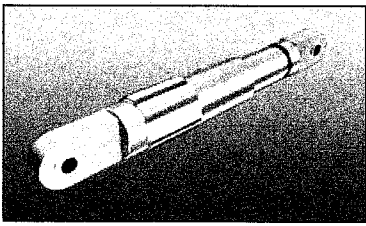
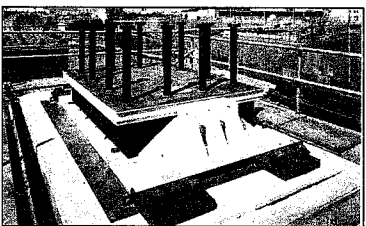
名称	せん断パネル型制震ストッパー ¹⁾	粘性ダンパー ²⁾	免震支承 ²⁾
概略形状			
構 造 性	せん断パネル型制震ストッパーは、せん断パネルに低降伏点鋼を用いた履歷型のダンパーである。地震時ではせん断パネルが降伏して地震エネルギーを吸収する。優れた制震効果により地震時の応答変位を大きく低減できる。	粘性ダンパーは、特殊充填材の流動抵抗力を利用した高減衰ダンパーである。地震による橋梁の揺れをシリンダーとピストンとの相対運動に置換えて、その際に生じる抵抗力により振動エネルギーを吸収する。	免震支承は、橋梁を弾性支持することにより地震力を低減させるものである。しかし、免震支承は地震時の変位が大きくなるため、橋桁の遊間が少ない既設橋梁では、桁がパラペットに衝突する恐れがある。
部材重量	0.30t/基	1.60t/基	4.10t/基
経 済 性	1.00 (比率)	1.20 (比率)	2.00 (比率)

表-4 低降伏点鋼の機械的性質

鋼 種	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
LY225	205~245	300~400	40
SM400A	245 以上	400~510	18

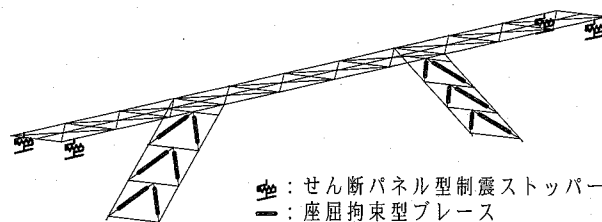


図-3 耐震補強対策

4. 耐震補強対策

既設橋梁の耐震性を向上させる方法としては、(1)補強板、補剛板などによる部材の強度を増加させる方法、(2)支承、粘性ダンパーなどを組み合わせた橋梁を免震化する方法、(3)構造物内部に非線形部材を挿入し、その部材のエネルギー吸収効果により、耐震性向上を図る方法などがある。

近年では、(3)の耐震性向上策が建築分野で積極的に採用されるようになっており、実施例も多く報告されている。橋梁への適用に関する研究成果も幾つか報告されている^{3)~8)}。

本橋では、表-3の免震・制震デバイスの比較検討により、橋軸方向の制震デバイスは、せん断パネル型制震ストッパーを選定した。橋軸直角方向の制震デバイスは、アーチ橋、ラーメン橋などの耐震補強で実績のある、座屈拘束型ブレースを選定し、既設橋脚横構を座屈拘束型ブレースに取り替える耐震補強対策を提案した。これらは上記(3)の耐震性向上策であり、ともに低降伏点鋼 LY225 を用いた制震デバイスである。

低降伏点鋼の機械的性質は、表-4に示す通り普通鋼材に比べ低い降伏点を示し、降伏点を狭い範囲に

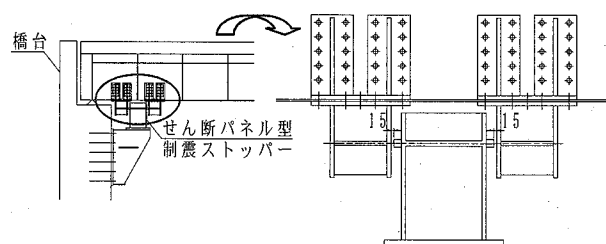


図-4 せん断パネル型制震ストッパー取付図

収める仕様となっている。破断伸びも40%と大きな伸び性能を有している。そのため、制震ダンパー用の鋼材として多く使用されている。

5. 耐震補強効果

(1) 制震デバイス設置箇所

耐震補強対策として、図-3に示す位置にせん断パネル型制震ストッパーおよび座屈拘束型ブレースを設置した。せん断パネル型制震ストッパーは図-4に示す橋台前面に設置し、座屈拘束型ブレースは既設橋脚横構を置換するものである。

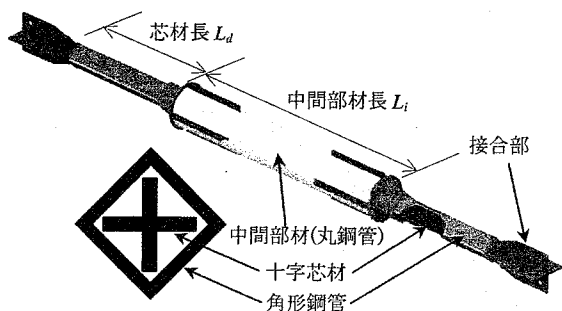


図-5 座屈拘束型ブレース

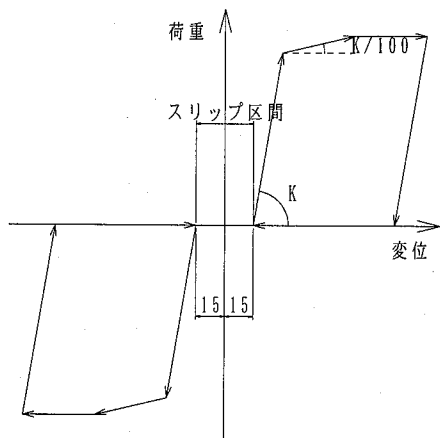


図-6 セン断パネル型制震スリッパ非線形履歴特性

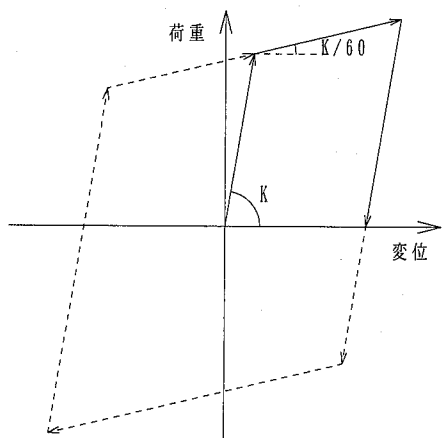


図-7 座屈拘束型ブレース非線形履歴特性

(2) 制震デバイスの非線形履歴特性

せん断パネル型制震スリッパは、温度軸力が桁に生じないように温度変化による移動量分の隙間（図-4に示す15mm）を設ける構造とした。このことにより、せん断パネル型制震スリッパの非線形履歴特性は図-6に示すスリッパトリニア型⁹⁾とした。また、補強後の動的解析では、せん断パネル型制震スリッパの1次剛性の影響を取り除くため、要素別 Rayleigh 減衰を用い減衰は0%とした。

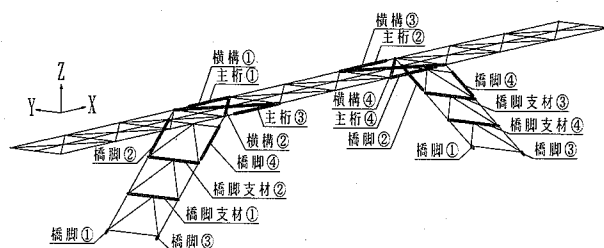


図-8 補強効果着目部材

表-5 応答値の比較（応答値/許容値）

部 位	補強前	補強後	部 位	補強前	補強後
主 桁 ①	4.84	0.71	横 構 ①	3.58	0.15
主 桁 ②	4.73	0.83	横 構 ②	3.50	0.13
主 桁 ③	4.84	0.71	横 構 ③	3.53	0.14
主 桁 ④	4.73	0.83	横 構 ④	3.55	0.14
橋 脚 ①	1.32	0.87	橋脚支材①	5.79	0.12
橋 脚 ②	1.45	0.63	橋脚支材②	7.82	0.12
橋 脚 ③	1.54	0.89	橋脚支材③	5.89	0.12
橋 脚 ④	1.45	0.63	橋脚支材④	8.16	0.12

座屈拘束型ブレースは図-5の構造を想定し、非線形履歴特性は、「鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン（2006.9）」⁹⁾に従い、2次剛性を1次剛性の1/60とした図-7に示すバイリニア型とし、最大ひずみ1.5%の変形能力を想定する。

(3) 制震デバイスの効果

耐震補強対策として図-3に示す位置に設置したせん断パネル型制震スリッパおよび座屈拘束型ブレースの効果を表-5に示す。表-5は補強前の応答値が大きい図-8に示す部位に着目した結果であり、記載している数字は、応答値/許容値の比率を示す。1.0以下であれば、応答値が許容値に収まっていることを意味する。ここでいう許容値とは、降伏ひずみおよび降伏応力度である。

主部材である主桁および橋脚は、それぞれ、最大で15%、43%応答値が小さくなる。

二次部材である横構も主部材と同様に応答値が小さくなる。座屈拘束型ブレースの取り替えに伴い、橋脚支材も剛性の大きな部材に取り替えるため、橋脚支材については、大幅に応答値が小さくなる。

これらすべての部材が塑性化に至らないようにすることが可能となり、耐震補強対策として設置したせん断パネル型制震スリッパおよび座屈拘束型ブレースが効果的であることが分かる。

