



# 長大橋の耐震性向上方法

Development of Techniques for Improving Seismic Performance of Long Span Bridges

上	平		悟	中	出		收	井	F	幸	_
明	神	久	也	森	下	邦	宏				

兵庫県南部地震以降,中小規模の既設橋梁に関してはおおむね耐震対策工事を終えているが,挙動が複雑な橋梁及び 長大橋の多くは実施可能な対策が見出せないために手つかずの状態にある.当社では従来から新設,既設構造に対し, 種々の耐震工法を開発してきたが,これらのうち,耐震プレースと床組免震が有効かつ現実的と考えられ,本報では既 設橋梁のうち,上路アーチ橋とトラス橋を例として検討を行った.その結果,現状構造では降伏域を大きく上回ってい たレベル2地震時応答を,ほぼ弾性域まで低減することができ,耐震対策としてきわめて効果が大きいことが確認され た.

### 1.はじめに

兵庫県南部地震以降,橋梁の耐震検討・補強が精力的に行われ,中小規模橋梁に対する耐震補強は一巡した状態にある. 長大橋については,複雑な地震応答性状,的確な耐震構造立 案の困難さ等により,実工事に至った例は少ない.実工事を 行った場合でも,"補強"を施したものが多く,補強が困難 な基礎構造にまで施工範囲が広がるなど,工事が大規模にな っており,より効果的,かつ経済的な耐震性向上対策が望ま れている.さらに,平成14年に道路橋に関する設計指針で ある"道路橋示方書"が改訂され,耐震設計に対しては,従 来の仕様規定(守るべき材料,構造,設計手法が具体的に規 定されている)から,性能規定(材料,構造,設計手法など の要求性能が規定されるもので,要求性能を満足するよう設 計・開発者が自由度を持って設計を行うもの)に移行し,耐 震性向上対策構造の自由度も大きくなってきている.

性能規定型設計の概念を取り入れ,長大橋の耐震補強を先 駆的に実施した米国(Caltrans: California Department of Transportation)での事例においては<sup>(1)</sup>,対象構造は複雑で あり,橋梁毎に個別の検討を実施している.しかし,橋脚, 橋桁の単純な補強,あるいは,ゴム支承,滑り支承,オイル ダンパなどを組み合わせた機構を用いた橋桁の免震・制震化 など,構造的には一般的な補強,免震,制震工法を採用して いる例が多く,工事が大規模になっている.

## 2. 耐震ブレースを用いた工法

2.1 耐震ブレース(軸降伏型座屈拘束ブレース)の概要 軸降伏型座屈拘束ブレースは,機械的な機構(摩擦,オイ ルなど)によりエネルギーを吸収するのではなく,鋼材の弾 塑性特性を利用したエネルギー吸収機構を有しており、通常, トラス構造の斜材部分に挿入される.構造は図1のように, 作用軸力に対して軸降伏して弾塑性エネルギーを吸収する芯 材(十字型断面),芯材と隙間をあけて設置され,圧縮力に 対して芯材が降伏後に横倒れ座屈するのを拘束する拘束管 (角形鋼管),ブレース部材の両端に配したダンパ部材(芯 材+拘束管)をつなぐ中間材(丸鋼管)により構成されている.





図 2 軸降伏型座屈拘束プレースの特性 安定した履歴特性(エネルギー吸収特性),十字型断面芯材の寸法(幅厚比)の相違に よる変形性能の変化を示す.



軸力が作用した場合,圧縮力に対しては,芯材が降伏後, 局部座屈を生ずるが,図1のように拘束管が芯材の横たわみ を拘束することで引張降伏状態と同様の弾塑性挙動を示す. この耐震ブレースに対する繰返し載荷実験結果を図2(a)に 示す.縦軸は平均軸応力 a,横軸は平均軸ひずみ aであ り,非常に安定した弾塑性エネルギー吸収効果を示している. また,図2(b)に耐震プレースの性能曲線を示す.横軸は十 字型芯材の幅厚比(芯材の突出板幅/板厚の比),縦軸は繰 返し変形性能を示す指標 を示す.図中の横太線は本ブレー スに対して大地震時に要求される変形性能であるが,十分な 変形性能を有していることが分かる<sup>(2)</sup>.

#### 2.2 アーチ橋への適用例

ブレースを有する橋梁形式はいくつかあるが,ここでは上 路アーチ橋を対象とした<sup>(3)</sup>.対象橋梁のモデルを図3に示す. 対象とする橋梁は、橋長140 m(支間長20 + 100 + 20 m),アー チ幅7.35 mの中規模の既設の鋼製上路式ランガー橋であり, 平成2年度改訂版道路橋示方書に準じて設計されたもので ある.現状構造における支承部拘束条件は,桁端では橋軸方 向可動,橋軸直角方向固定,アーチリブ基部ではピン条件で, 水平方向については橋軸・橋軸直角方向とも固定となってい る.全重量は1700 tf,鋼重は500 tfである.また,図3中に は,耐震ブレースを設置した箇所を太線で示している. 地震応答解析に先立ち実施した固有振動解析結果のうち, 固有振動モードを図4に示す.この結果より,橋軸直角方向 (Y方向)で0.95秒,橋軸方向(X方向)で0.87秒に各方向 の卓越振動モードがあり,そのモードにおける変形状態が見 てとれる.この振動モードに基づき,地震時に大きな変位が 生じる箇所,すなわち大きなエネルギーを吸収可能な箇所に 耐震プレースを設置した.橋軸方向対策としては,図3中の 太線の主構面内,橋軸直角方向については下横構,脚対傾構 である.

次に,レベル2地震動を入力した場合の地震応答解析を実 施した.解析は,現状構造及び耐震ブレースを設置した2つ の構造系に対して行い,両者の応答値より,耐震ブレース設 置による応答低減効果を検討した.解析結果のうち,図5に 橋軸直角方向(Y方向)に地震波(道路橋示方書標準波I-I-1)を入力した場合の各支承におけるY方向反力の合計 反力の時刻歴応答波形,及び桁中央部の応答変位時刻歴波形 の比較を示す.これらの比較より,大きな低減効果が現れて おり,反力で60%,変位においても50%以上応答が低減し ている.また,各部材に対する応答の比較として,各部材に 発生する最大応力度比 (「死荷重+地震荷重によって生ずる 最大応力]/[降伏または座屈応力]の比率で1.0以下であ れば安全範囲)を照査した結果,橋軸方向においても応答低 減効果は大きく,現状構造で損傷する可能性がある部材(最 大応力度比2.62)も,耐震ブレースを設置する対策を施すの みで,弾性範囲内に納めることができる.橋軸直角方向につ いても,現状構造で最大2.78が弾性範囲内に収まる結果とな った.

なお,現状構造で損傷する鋼部材を単純に補強した場合, 補強重量は91 tfとなった.これは全鋼重の20%程度の増加 に対応しており,大規模な補強となることが予想される結果 となった.

#### 3.床組免震工法の適用

#### 3.1 床組免震工法の概要

橋梁における従来の免震工法は,図6のように上部工(本 報ではトラス桁+道路床組)を支持するために下部工(橋脚) 上部に設置された支承(主構支承)を免震機構に置き換え,



314



図 6 トラス橋構造概要及び床組免震概念

上部工から下部工に対して作用する慣性力を低減させ, 耐震 性能を向上させる工法である.しかし,この工法は,中小規 模桁橋などには適用可能であるが,スパンが200mを超える ような長大橋に対しては,上部工重量が大きく慣性力に伴う 応答変位が過大になる点、上部工を支持する支承構造が非現 実的な寸法になる可能性がある点などから,困難な場合が予

図中囲い部に橋軸直角方向の床組挙動の概念を示す.

測される.

そこで,本報で扱うトラス橋のように,車両が通行する道 路床組と,それを支持する上部工(トラス桁)が分離され, 別途,道路床組を支持するための支承(床組支承)がトラス 桁上に設置された構造に対して,この道路床組支承に免震機 構を与える工法を開発した.床組支承は,主構支承よりも小



さいので,現実的な免震構造が適用可能となる.また,道路 床組自体の自重も比較的大きいことから,慣性力の低減によ って,トラス桁に作用する力も低減可能である.この床組免 震丁法の概念を図6に併せて示す.

#### 3.2 トラス橋への適用例

床組免震化工法をトラス橋に適用した場合の応答性状につ いて検討を行った.対象としたトラス橋は,図6に示すよう な3径間連続(150m+250m+150m)の鋼トラス橋である. 上部工重量は12 000 tfであり,その内の60%である7 000 tf を道路床組が占めている.現状構造に対してレベル2地震動 (サイト特性を考慮した活断層波)が入力された場合,トラ ス部材の座屈,中間橋脚の主構支承の破損などが生ずる結果 となった.

次に,この構造に対して床組免震化を行い,地震応答解析 を実施した.解析結果のうち,橋軸方向(X方向)に地震を 入力した場合の桁中央部応答変位時刻歴波形,及び橋軸直角 方向(Y方向)に地震を入力した場合の中間橋脚主構支承の 水平反力の比較を図7に示す.応答変位波形の比較より,桁 中央の最大応答変位は低減しており, さらに, 免震機構によ る付加減衰効果によって,振動振幅の収束も早い,すなわち 減衰性能が向上していることが分かる.なお,本検討におい ては、道路床組と主構造間の相対変位は20 cm 程度となった、 また,支承部反力の比較より,上部工全体の60%を占める 床組の慣性力を免震化により低減させることで,支承部に作 用する反力も大きく低減していることが確認できる.この低 減により,支承部は弾性範囲に収まった.さらに,座屈ある いは降伏するトラス部材数については,橋軸方向入力時で 58部材(現状構造)から1部材(耐震構造)に,橋軸直角 方向入力時で29部材から2部材に低減する結果となり,床 組免震工法を施すことにより,ほとんどの部材が弾性範囲内 に収まる結果が得られた.

なお,一般的な免震化工法として,トラス桁を支持する支 承を免震化した場合の検討結果では,部材の応答を弾性範囲 内に納めるためには,支承部に110 cmの過大な相対変位を 生じさせる必要があったことを補足しておく.

#### 4. لح め

当社では国内外を代表する数多くの橋梁の設計,施工を通

じ,多くの設計,施工技術を培ってきた.また,橋梁のみな らず, 煙突, 鉄塔, ボイラなどの鉄鋼構造物に対する制震, 耐震技術に関する研究開発も行ってきた、本報で紹介した軸 降伏型座屈拘束ブレース,床組免震を用いた耐震性向上工法 は,単一の構造形式に対するものでなく,適用範囲は十分に 広いものである.

性能規定型設計の必要性が認識されるようになった今日に おいて,新設橋梁に対する合理的,経済的設計をしていく上 で,さらには,現状未着手である長大橋の耐震改修工事を行 っていく上でも,これらの工法は大きな効果を発揮するもの と考えられる.今後も,新たな耐震性向上対策を開発してい くとともに,これらを用いた地震に強い橋梁の開発に努めて いく所存である.

#### 参考文献

- (1) Seim, C. et.al., Toll Bridge Seismic Safety Review-Final Report to the Caltrans Director, Engineering Service Center, the Consultant Contact Management Branch and the Division of Structures (1999)
- (2) 森下ほか,両端に軸降伏ダンパを組込んだ長尺ブレース の座屈拘束条件(その1)設計法,(その2)模型実験, 平成11年度建築学会近畿支部研究報告集(1999) p.293
- (3) 井上ほか, 軸力降伏型鋼製ダンパを適用した鋼橋の耐震 性向上法,第5回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の 耐震設計に関するシンポジウム講演論文集(2002) p.43







技術本部 広島研究所 鉄構・土木研究室 工博



広島製作所 鉄構技術部 橋梁技術課

明神久也 技術本部 広島研究所 鉄構・土木研究室