

橋の免震構造に関する技術資料の出版

—「わが国の免震橋事例集」と「道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)」—

大田孝二*

1. はじめに

(一財)土木研究センターでは、建設分野における優れた新技術や新工法の普及促進を図るとともに、その適用性などを明確にするために、学識経験者や各界の専門家の方々を構成員とする研究委員会を設置し、各種の研究開発業務を実施しています。

平成7年兵庫県南部地震では、従来観測されたことのないような強い地震動により、橋梁をはじめ多数の土木構造物が甚大な被害を受けましたが、こうした強い地震動に対して耐震性を高める工法として免震構造の採用が飛躍的に増加してきました。兵庫県南部地震から17年が経過するとともに、免震構造も一般的に採用される構造の1つとなり、その建設数も500橋を超えるといわれています。平成23年の東日本大震災においても、地震動による甚大な被害を受けた橋梁構造物は少なく、免震構造を始めとする耐震技術の有効性の検討も進められているところです。

このような背景のもと、(財)土木研究センター(現一財)では、平成17年10月に「道路橋の免震構造研究委員会(委員長:川島一彦東京工業大学大学院教授)」を設置し、学識経験者や専門家の意見を戴きながら、橋梁分野における免震構造の技術情報の収集・分析及び新たな技術開発に関する検討を進めてきました。

本研究委員会の最終成果として、わが国の免震橋の建設の経緯やわが国で建設された特徴的な免震橋の事例をまとめた「わが国の免震橋事例集」、さらに、免震設計と制震設計を統一的に分類し、その設計法の考え方をまとめた「道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)」を発刊しました(図-1)。両出版物ともに、橋の免震構造に関して参考になる事例や情報が盛りだくさんで、一読の価値ある資料集となっています。

本文では、これらの資料集について紹介します。

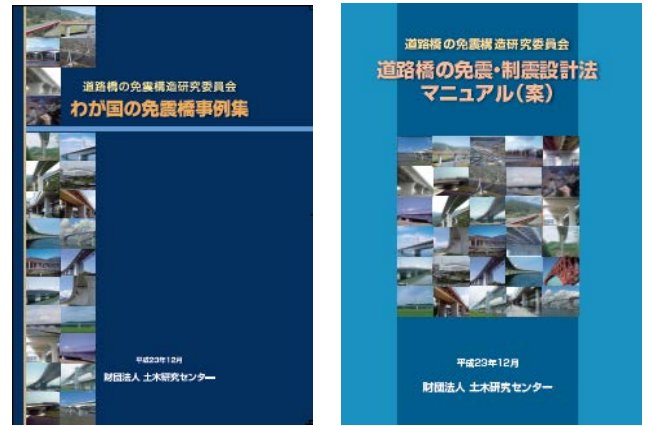


図-1 研究委員会の成果(左:わが国の免震橋事例集、右:道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案))

2. わが国の免震橋事例集

2.1 免震構造に関する技術開発

わが国は世界有数の地震国であり、幾多の地震被害の経験をもとに、構造物の地震被害を軽減するための様々な耐震技術の開発が行われてきました。従来の耐震設計は、想定する地震力に耐えられるように構造物の強度を強くするという発想です。一方、免震設計は、地震力に対して「耐える」のではなく、文字どおり「免れる」という発想からきています。地上構造物は、地盤振動に伴って慣性力を受けるため、構造物を地盤から切り離して地盤振動の影響を受けにくい構造にしておけば、構造物に作用する慣性力を大幅に低減できるというのが免震構造の考え方です。免震構造では、上部構造を水平方向に軟らかく支持する(長周期化)と同時に、振動エネルギーの吸収を図ること(高減衰化)が力学的な基本条件になります。

このような免震設計技術の本格的な技術開発は、昭和61年度に(財)国土開発技術研究センター内に「免震装置を有する道路橋の耐震設計研究委員会」が設けられ、道路橋に適用可能な免震装置の調査が始められたのが最初です。その後、建設省土木研究所(現独立行政法人土木研究所)は、平成元年から民間28社との共同研究「道路橋の免震構造システムの開発」を実施し、わが国の道路橋

のおかれた環境に適した免震支承や免震設計法に関する研究が実施されました。研究開発の成果は、平成4年3月に「建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)」としてとりまとめられています。

2.2 免震橋の建設

上記のような研究開発に並行して免震設計の実用性を検証するために5つの橋において免震橋の試験施工が行われました。このうち、静岡県の宮川橋（3径間連続鋼 I 桁橋）は、平成3年3月にわが国初の免震橋として竣工しています（写真-1）。宮川橋では、鉛プラグ入り積層ゴム支承が用いられており、竣工後に自由振動実験や地震観測等が行われ、設計条件等の確認も行われました。その他、高減衰積層ゴム支承が用いられたわが国初のPC免震橋である栃木県の山あげ大橋（6径間PC箱桁橋）も宮川橋と同様に試験施工された1橋です（写真-2）。山あげ大橋では、建設後10年経過した免震支承の経年変化について調査するために、既存支承を交換し、その特性試験が実施されました。経年変化の程度は小さく、ほぼ予測式の範囲内であったことが確認されています。

平成7年兵庫県南部地震以降は、地震によるゴム系支承を用いた橋の損傷が少なかったことなどから、被災橋の復旧を含め、新設の多径間連続橋においては免震構造の採用が一般的となりました。既設橋では、走行性の向上と交通振動の低減、維持管理性の向上を目的として既設の単純桁の連続化・ノージョイント化を図るとともに、地震力の分散と減衰性能の付加による耐震性の向上を図る耐震補強が行われる橋も増えています。さらに、実際の震災によって損傷した橋を対象に、下部構造や基礎構造の大きな補強をしないで、耐震性を向上させるための復旧工法として免震構造が採用されている事例も増えています。

多径間連続橋としては、従来構造では最大500m程度でしたが、免震設計の採用により1km級の超多径間連続橋が実現可能になっています。これは、免震支承が水平方向に剛性が低いという特徴を生かしたものであり、温度変化による桁の伸縮によって橋脚に作用する水平力を低減することが可能になったためです。超多径間連続橋は、耐震性の向上のみならず、伸縮継手数の減少により、走行性の向上、騒音・振動の軽減、維持管理性の向上にも貢献できます。わが国最初の超多径

間連続橋は、橋長725mを有する29径間連続橋の大仁高架橋です。



写真-1 わが国初の免震橋：宮川橋



写真-2 高減衰積層ゴム支承を用いたわが国初のPC免震橋：山あげ大橋



写真-3 免震支承の経年変化特性を調査するための既存支承の交換工事：山あげ大橋

2.3 特徴的な免震橋の事例

「わが国の免震橋事例集」では、上記の国内で最初に建設された免震橋に始まり、超多径間連続橋、斜張橋、ループ橋、橋脚基部に免震支承を有する特殊な構造などが多数の免震橋の事例が紹介されています。また、免震構造を採用した震災復旧事例や耐震補強事例、国内最大級のサイズの免震支承などについて、設計上の工夫点などに関する解説や試験データ、引用文献等を含めて記述されています。

土研センター

表-1は、事例集に記述されている免震橋リストの一部を示したものです。免震橋用の大変位に対応した伸縮装置である大変位吸収システム構造(写真-4)や国内最大級の幅2m級の支承(写真-5)など多くの写真やデータが示されています。

さらに、事例集には、国土交通省の協力を得て、実際に建設された207橋の免震橋の構造と設計に関する特徴の分析結果もまとめています。免震構造が採用された橋の連続径間数や地盤条件、免震支承の種類等設計上の参考情報が示されています。

表-1 事例集に解説される特徴的な免震橋事例

(a)わが国の代表的な免震橋

No.	特徴的な免震橋
1	わが国最初の免震橋・宮川橋
2	わが国最初の高減衰積層ゴム支承(HDR)を用いた免震橋：山あげ大橋
3	わが国最初の超多径間連続免震橋：大仁高架橋
4	わが国最長の超多径間連続免震橋
5	ストッパーとダンパー及び免震支承を併用したPC斜張橋
6	免震支承を用いたPC・鋼複合連続エクストラード橋
7	不等高の鋼管・コンクリート複合構造橋脚を有する免震橋
8	橋脚基部に免震支承を有する免震橋

(b)地震によって被災した橋梁を免震構造によって復旧された橋・免震構造によって耐震補強された橋

No.	特徴的な免震橋
1	橋脚基部に免震支承を設置して震災復旧された橋
2	桁連結と免震化により震災復旧された橋
3	免震化により震災復旧された鋼トラス橋
4	免震支承を用いて耐震補強された鋼トラス橋
5	すべり床免震構造により耐震補強された長大ゲルバートラス橋
6	ダンパーを用いた慣性力分散工法により耐震補強された橋

(c)免震構造や免震支承に特徴がある橋・免震橋の施工技術

No.	特徴的な免震橋
1	桁端部の大変位対策として大変位吸収システムが採用された免震橋
2	積層ゴムダンパーを用いた地震時水平力分散構造
3	鋼製リンク支承を用いた免震橋
4	国内最大級のすべり系免震支承を用いた免震橋
5	国内最大級の積層ゴム支承、鉛プラグ入り積層ゴム支承、高減衰ゴム支承(HDR)を用いた免震橋
6	免震支承の後ひずみ調整の実施例



写真-4 免震橋用の伸縮装置：大変位吸収システム



写真-5 わが国最大級の幅2m級のゴム支承

3. 免震・制震設計法マニュアル(案)

3.1 検討のポイント

マニュアル(案)は、最近の免震・制震デバイスの開発やこれらを用いた免震・制震構造を有する橋への適用検討などの研究成果をもとに、橋の免震・制震設計に関する参考資料としてまとめられたものです。道路橋示方書の基本的な考え方に基づいて、免震・制震デバイスを用いた橋の設計法や同デバイスの力学特性や性能試験方法などについての共通的な考え方が整理されています。

免震構造・制震構造の定義については様々な提案がありますが、マニュアル(案)では、現在までの利用形態から次のように定義し、これらを用いた場合の橋の設計法を示しています。

(1) 免震構造

免震デバイスを用いて、橋の固有周期を適度に長くするとともに、減衰性能の増大を図って地震応答の低減を図る構造

(2) 制震構造

制震デバイスを用いて橋の減衰性能の増大を図って地震応答の低減を図る構造

免震構造・制震構造の要となる免震・制震ディ

バイスには様々な構造が開発、提案されていますが、これらを図-2に示すように機能に応じて統一的に初めて分類しています。

アイソレーターとは、一般には上下部構造間に設置して桁の自重を支持しつつ、水平方向に橋の長周期化を図り、かつ、復元力を有するデバイスの総称であり、積層ゴム支承やすべり系アイソレーターがよく用いられます。

一方、ダンパーとは、減衰機能を与えるデバイスの総称です。素材や減衰を発揮させるメカニズムに応じて多様なデバイスがあります。一般にダンパーは、橋の自重や常時荷重により上部構造に生じる断面力を負担しません。ダンパーの素材としては、鋼製、粘性体、ゴムなどが、また、減衰を発揮するメカニズムとしては、履歴型、粘性型、摩擦型などがあります。

表-2は、マニュアル(案)の目次を示したものです。マニュアル(案)では、こうした免震・制震デバイスを用いた場合の橋とデバイスの設計法がまとめられています。

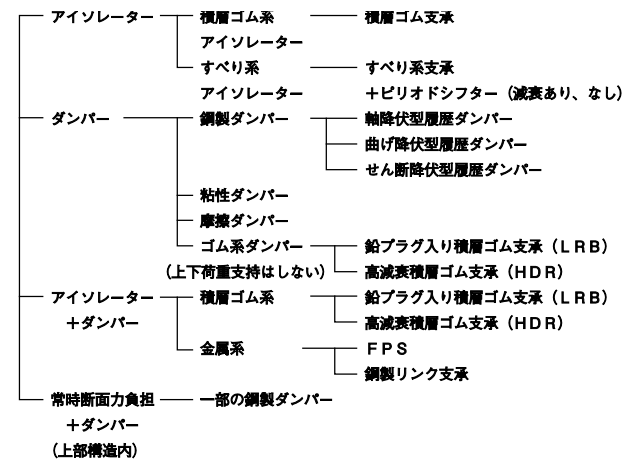


図-2 免震・制震デバイスの機能別分類

4. まとめ

本文では、昨年まで(財)土木研究センターに設置した研究委員会の成果として出版した「わが国の免震橋事例集」と「道路橋の免震・制震設計法マニュアル(案)」を紹介しました。今後のさらなる免震・制震技術の開発と普及の参考になることを願っています。

表-2 免震・制震設計法マニュアル(案)の目次

本文	
1.	総則
2.	免震・制震設計の基本方針
3.	レベル2設計地震動
4.	耐震性能の照査
5.	耐震性能の照査方法
6.	免震・制震デバイスの設計
7.	免震・制震デバイスの性能確認試験
8.	免震・制震設計を用いる場合の構造細目
9.	免震・制震デバイスの施工
10.	維持管理
11.	地震後の点検および復旧
12.	耐震補強への応用
参考資料	
I	近年の地震で観測された長周期領域において大きな地震力を有する強震記録
II	実用化されている免震・制震デバイスとその特性 (積層ゴム支承、鉛プラグ入り積層ゴム支承、高減衰積層ゴム支承、すべり系アイソレーター、FPS、せん断パネル型制震ストッパー、アンボンドブレース、免震U型ダンパー、粘性ダンパー)
III	実大免震支承の震動台実験 (E-Defenseでの実験)
IV	2011年東北地方太平洋沖地震による積層ゴム支承の損傷被害

謝辞

最後になりましたが、本研究委員会の検討にご協力をいただいた委員長をはじめ、委員、幹事の皆様、免震橋の現況調査アンケートにご協力をいただいた国土交通省地方整備局のご関係の皆様、そして、免震橋の設計・施工事例について事例集への掲載を許可いただいた管理者と施工者の皆様に厚く感謝申し上げます。

大田孝二*



一般財団法人土木研究センター
企画・審査部長兼コンクリート研究室長、工博
Dr. Koji OTA