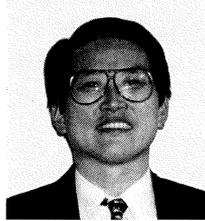


橋梁のMenshin Design

東京工業大学工学部土木工学科教授 川島一彦



免震設計はキャパシティーデザインの延長として発想され、設計技術が開発されてきた。この点において、免震技術の開発に果たしたニュージーランドの貢献には大きいものがある。もちろん我が国においても免震設計に対する発想やデバイスの開発等は古くから行われてきた。何が免震設計のルーツかを探ることは困難なほどである。しかし、震度法から地震時保有耐力法への切り替えが遅れた我が国では、キャパシティーデザインに代表される大規模地震時に生じる現実的な地震力を見込み、そのうえで構造系の損傷を最も望ましいモードと場所に抑えていこうという発想を設計体系に組み込み得なかった。地震時保有耐力法に基づく橋梁の免震設計に関する本格的な技術開発は、平成に入ってから開始されたと言ってもよい。これについて、以下簡単に紹介しよう。

我が国では昭和40年代からダンパーストッパーを中心とする独自の免震化の試みが多径間連続橋に対する地震時水平力分散構造という形で進められてきた。ダンパーストッパーとは、粘性ダンパーの粘性を十分大きくし、桁の温度変化等のゆっくりした動きには抵抗しないが、地震時のように速い動きに対してはストッパーとして抵抗するようにしたもので、都市内高架橋のように地震時水平力のある特定の橋脚に集中する代わりにバランスよく多数の橋脚に分散することをねらったものである。

また、桁を可動支承で支持し、桁と橋脚をケーブルで結んだSUダンパーもユニークな設計である。可動支承の摩擦によりエネルギー吸収を図り、ケーブル張力を調整することによって固有周期を調節するというもので、地震時保有耐力法という設計体系があったならば、世界に先駆けて免震設計と評価されていたと考えられる。SUダンパーは昭和38年に首都高速道路1号線芝海岸高架橋で最初に採用されたが、ニュージーランドにおいて昭和49年に最初の免震橋(South Rangitikei橋)が建設されたのと比較しても独創的な技術開発であったということが出来る。

もう一つわが国の特徴のある免震技術は、斜張橋を

中心とした一連の技術開発である。斜張橋では、桁と主塔との定着方法が重要であるが、ここを固定せずケーブルで弾性的に結合したり(名港西大橋等)、リンクで結合する構造(横浜ベイブリッジ、櫃石岩黒橋等)が採用されてきた。これにより、固有周期を伸ばし、地震動との共振を避けようとするわけである。さらに、東神戸大橋のように、桁をケーブルだけで支持して、主塔とは全く切り放した構造(オールフリー構造)も採用されている。

わが国における鉛プラグ入り積層ゴム支承や高減衰積層ゴム支承を用いた橋梁の免震技術の開発は、昭和61年から3年間、(財)国土開発技術センターに研究会が設けられたのを契機として、本格的に開始された。この成果は、「道路橋の免震設計法ガイドライン(案)」として平成元年3月にまとめられたが、この段階では、まだ震度法ベースの設計法が中心であった。

平成元年から3年間計画で建設省土木研究所と民間26グループ28社との共同研究が行われ、設計理論に関しては主として土木研究所により、免震支承等のハードウェアについては主として民間会社により開発が行われた。この中では、橋長1kmに及ぶ超多径間連続橋の可能性や、ノックオフ橋台、橋軸方向だけでなく橋軸直角方向にも移動可能な2方向ジョイントの開発と模型振動実験による検討等、ユニークな技術開発が行われた。重要な点は、平成2年に改訂された道路橋示方書と同時に作業が進められたため、地震時保有耐力法に基づく免震設計法が開発されたことである。これにより、初めて大規模地震時に生じる現実的な地震力を見込んだ設計体系がとりまとめられた。この成果は平成4年3月に「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、その後のわが国の橋梁の免震設計の原型になっている。

この基本的な考え方は、長周期化についてはできるだけ控えめにし、エネルギー吸収性能の向上と地震時水平力の分散を基本とした設計を行っていくというものである。長周期化を控えめにしようという理由は、これによる桁変位の増大が桁端における橋台や隣接桁

との取り合い、大きなネックとなるためである。むろんでできるだけ免震支承に変形を集中させ、橋脚等の下部構造の塑性ヒンジ化を抑えるためには、ある程度の長周期化は必要であり、このため、固定支承で支持された場合の固有周期の2倍程度の長周期化をはかることが提案されている。長周期化を制限するため、塑性ヒンジ化は免震支承と同時に橋脚にも生じることになる。道路橋の免震設計法マニュアル(案)では、免震支承と橋脚の両者の塑性ヒンジ化に伴う応答の低減を評価できるように提案されているが、適用に際しては、まだ免震橋の歴史が浅いことから、免震支承による長周期化の効果は見込んでもエネルギー吸収の効果は見込まず、橋脚の塑性ヒンジ化を考慮して設計することが示されている。

道路橋の免震設計法マニュアル(案)による設計事例が徐々に増えつつあった段階で、兵庫県南部地震が発生し、橋梁の甚大な被害が生じた。被害原因としては、鉄筋コンクリート橋脚のせん断破壊、じん性不足、主鉄筋段落とし等いろいろなものがあるが、鋼製支承の破壊も大きな原因であった。支承には、桁の自重を支持するほか、常時の制動荷重や温度移動等を制限したり、地震力を支持し、地震時の過度な桁の移動を制限する等、いろいろな機能が要求される。鋼製支承の多くは、衝突力に弱い、耐力が不十分、可動方向が1方向しかなく、可動変位量も小さいと、いろいろな問題が指摘され、被災した橋の復旧のために、地震後、建設省が急遽とりまとめた「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」においては、免震設計や積層ゴム支承の採用が提案された。このような考え方は、平成8年に改訂された道路橋示方書にも受け継がれ、道路橋の免震設計法マニュアル(案)で提案された設計法が「第8章 免震設計」として正式に道路橋示方書に取り入れられた。道路橋の免震設計法マニュアル(案)は技術指針の様式で書かれてはいるが、単なる研究レポートに過ぎないことを考慮すると、道路橋示方書に免震設計の章が初めて設けられたことは、免震設計の実用化という点で画期的な前進といえることができる。

本誌の名称が「Menshin Design」となっているが、橋梁の免震設計法を海外に紹介する際には一貫して

Seismic IsolationではなくMenshin Designという表現を用いてきた。現在では、海外の論文でもSeismic Isolation/Menshin Designと表現している論文をときどき見かける。わざわざSeismic IsolationではなくMenshin Designという表現を取ってきたのは、長周期化に重点を置かず、エネルギー吸収性能の向上と地震時水平力の分散を基本とした設計体系であり、ニュージーランド流の考え方と同じではないということが理由であるが、実は、その背景には別の理由がある。それは、建設省土木研究所と民間28社の共同研究成果を多数のグループが土木学会年次学術講演会で発表した際に、さる大御所の先生から、このような考え方は免震設計ではないというご指摘を得た。この先生の頭の中には、海外から直輸入した技術が本流で、国産技術は亜流という発想があったのであろう。技術というものは、必要に応じて開発するもので、最初に名称と定義が決まっているわけではない。土俵が違うと言われるのであれば、内容にあった名称をつければよいではないかということで、多少どぎつuitとは思ったが、海外で紹介する際には、Menshin Designという名称を用いてきたものである。もっとも、国内向けには、免震設計のままなので、中途半端ではあるが……。

現在、橋梁の分野では、道路橋示方書に基づく免震設計を行う場合と、地震時水平力分散のためのゴム支承の一つとして免震支承を用いる場合がある。実数としては、後者の方が多い。しかし、単に設計計算が楽だからという安易な姿勢ではなく、より耐震性のある橋とするためにはいずれがよいかという発想で構造形式を選択していく必要がある。後者の場合でも、ゴム支承の変形が大きいと橋全体系のじん性率は橋脚系のじん性率とは異なり、荷重低減係数が正しく求められないことに注意しなければならない。ゴム支承に生じる変位をよく制御した上で、設計していく必要がある。また、コストが安くなるという理由で、本来、免震設計の採用がふさわしくない箇所でも免震設計を採用することも望ましい方向ではない。免震設計は、橋梁の耐震設計の選択の幅を確実に広めた。より合理的で、より耐震性の高い橋の建設のために、免震技術が発展していくことを願うものである。