

高性能耐震構造に関する一考察

運上 茂樹

正会員 工博 建設省土木研究所 耐震研究室 (〒305-0804 つくば市旭1番地)

1. はじめに

地震に対する安全性という観点では、大規模地震に対する耐震設計が重要である。一般的な橋梁構造物の場合には、希に起こる大規模地震に対して橋梁構造物を健全に近い状態に保つように設計することは経済性の観点などから必ずしも合理的ではないことから、一般に橋脚基部に確実に塑性ヒンジを誘導し、そこで適切にエネルギー吸収を図ることにより、大規模地震に抵抗する耐震設計を行う。設計で要求される耐震性能に応じて、終局状態に達しない範囲内のある程度の損傷を許容することを想定するため、地震後には、設計条件により異なるが、当然使用性に制限を受ける可能性や元の状態に戻すための修復工事が必要とされる。

もし、仮に、希に起こる大規模地震に対しても、経済性を大幅に損なうことなく、構造物を健全に近い状態に保持することが可能な技術が開発、実用化できれば非常に有用と考える。本文は、こうした観点のもと、次世代の高性能耐震構造の可能性に関する一つの考察をまとめたものである。

2. 次世代高性能耐震構造の可能性

(1) 高耐震性能の基本コンセプト

地震に対する高性能といってもいろいろな性能が考えられるが、基本的なポイントは以下の通りと考える。

- ①地震被害を受けない、あるいは、受けにくい耐震構造 (弾性限界・終局限界の高性能化、地震の影響の低減による相対的な高性能化を含む)
- ②地震被害を受けても早期に復旧可能な耐震構造 (復旧限界・修復限界の高性能化)

このように構造物の耐震性能を高める方法としては、構造的には、一般に、①耐力を高める、②変形性能を高める、③作用する地震の影響を低減する、方法が考えられる。地震の影響には、いわゆる強振動による影響とともに、最近のトルココジャエリ地震や台湾集集地震に見られたような地盤変位の影響も含めて考える必要がある。

このような考え方で高性能耐震構造を考察してみると、表-1のような構造が考えられる。

(2) 地震被害を受けにくい高耐震構造

まず、単純な発想としては、高強度材料や高弾性材料等の高性能材料を活用して構造部材の高性能化を図ることが考えられる。こうした発想で考えられる構造の中にはどの耐震性能にポイントを置くかによって高性能材料の選択、使用方法が異なってくると考える。例えば、高耐力構造 (高曲げ耐力構造、高せん断耐力構造)、高弾性構造 (PC鋼材等の弾性限の広い材料を活用した弾性挙動領域の広い構造)、高剛性構造 (弾性係数の大きい材料を用いた剛性の大きい構造)、超弾性構造 (弾性変形範囲を特別に大きくできるような弾性装置を組み込んだ構造)、高じん性構造 (損傷分散制御構造等) などが考えられる。

一例として上記の超弾性構造のイメージについて示すと、例えば地震時に生じる変形あるいは柱の回転性能を柱基部におけるバネ装置による弾性変形吸収構造において全て確保しようという発想である。この構造で集中的に変形を吸収することから他の柱部分には一切損傷を生じさせないことも可能と考える。変形性能、また、必要な耐力性能などの履歴特性もこの部分のバネや初期張力を適切に設計することにより自在に、また、変形に伴うエネルギー吸収についてもバネの非線形履歴特性や粘性ダンパーの併用により自在に制御することも可能と考えられる。また、こうした変形を弾性吸収できる部分を1箇所集中させずに、柱のいくつかの箇所に配置し、それぞれを小型化する考え方もある得る。例えば、プレキャストのコンクリート部材を弾性部材で適切に接合する構造など、あたかもシールドトンネルに用いられる弾性ワッシャーのようなものを橋脚に対して適切に耐力を保持できるように初期張力を与えて構成するという考え方である。

(3) 地震の影響を低減する高耐震構造

地震の影響を低減する構造の代表例としては、現在用いられている免震構造がある。これをさらに、

高性能化を図ることや断層変位のような顕著な地盤変位の影響を低減可能な変位免震構造が考えられる。免震構造においては、橋梁構造物では、地震力の低減に伴い生じる相対変位が問題となることや常時の使用性の問題などである程度の初期剛性や2次剛性を必要とすること、想定外の地震力が作用しても急激な破壊が生じにくい性能が必要なこと、支承空間やメンテナンスの観点などからいわゆるゴム製のコンパクトな免震支承が一般的に用いられてきている。しかしながら、例えば、摩擦型の免震構造の場合には、理想的には摩擦係数から生じる水平力以上は下部構造に伝達しないため水平力の制御という観点では優れている点も多く、上記の他の性能も満足できるような配慮を行うことによりさらに発展、実用化が見込めるものとする。

また、隣接する桁同士や桁と橋台などの間でエネルギー吸収性能を有する緩衝構造を介して衝突を適切に発生させ、これによって橋桁の振動を低減し、結果として下部構造に慣性力を伝達させないという衝突免震構造の可能性も考えられる。このような場合には、適切に衝突が発生するように振動特性を制御したり、反力を支持する橋台などの下部構造の設計を適切に行う必要がある。

また、橋梁位置において大規模な地盤変位による相対変位が生じた場合でも致命的な被害を防止することを目的とする変位免震構造の開発が必要と考える。地盤の変位は、上下、水平、様々な方向に想定されるが、あるレベル以下の相対変位については、変位に応じて桁が伸び縮みする伸縮桁や、あるいは、橋台部において桁が落下するのを防止できる高性能伸縮構造などが考えられる。

(4) 早期復旧可能な高耐震構造

早期に復旧が可能な耐震構造としては、高復元性能を付与した構造や耐力の低下の度合いが少ない履歴特性を有するように部材の履歴復元力特性を適切に制御した構造により、地震後の残留変位を小さくする構造が考えられる。履歴復元力特性の制御方法としては、鉄筋コンクリート構造では、例えば、P C鋼材等の高強度材料の活用²⁾・³⁾や鋼材の配置方法などにより様々な特性を創造することが可能と考える。

3. まとめ

高性能耐震構造の可能性について1つの考察を行った。今後、こうした従来技術の延長上あるいは従来技術にとらわれない高性能耐震構造の開発の可能性について実用化に向けた検討を行いたいと考える。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V 耐震設計編、1997年12月
- 2) 池田尚治、森拓也、吉岡民夫：プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する研究、プレストレストコンクリート、Vol.40、No.5、pp.40-47、1998年9月
- 3) J. M. Muller：Very Long Span Bridges：Concepts, Materials and Methods, IABSE Symposium, Kobe 1998, Long-Span and High-Rise Structures, IABSE Report Vol.79, pp.35-48, Sep. 1998

表-1 次世代高性能耐震構造の可能性

分類	構造	高耐震性能のイメージ
地震被害を受けない、あるいは、受けにくい耐震構造	高耐力構造	・高強度材料（高強度鉄筋、P C鋼材、高強度コンクリート等）を用いた高曲げ耐力構造、高せん断耐力構造
	高弾性構造	・P C鋼材等弾性限の広い高強度材料を用いた弾性変形領域の広い構造 ・高弾性特性を有する高性能材料を用いた高剛性構造
	超弾性構造（弾性変形吸収構造）	・地震時の変形を弾性変形吸収部材、弾性変形吸収装置により吸収する超弾性構造
	高じん性構造	・圧縮側材料（コンクリート等）の高拘束と引張側引張材の伸び性能・低サイクル疲労特性を高性能化した高じん性構造 ・損傷を分散させ、特定の箇所に集中させない損傷分散制御構造
地震の影響の低減	地震時慣性力の影響の低減（免震構造）	・高免震構造（すべりタイプ支承を基本とした高免震構造等） ・桁間あるいは桁と橋台間で緩衝構造を介して衝突を積極的に発生させることにより桁の振動エネルギーを吸収する衝突免震構造
	地震時地盤変位の影響の低減（変位免震構造）	・連結桁の伸縮上部構造（伸縮桁構造） ・橋台部における高性能伸縮構造
早期に復旧可能な耐震構造	高復元性構造	・残留変形を小さくすることが可能な高復元性構造 ・残留変形を小さくすることが可能な2次剛性の大きい非線形履歴特性を有する構造 ・損傷を分散させ、特定の箇所に集中させない損傷分散制御構造