

## 第 6 回 定 期 研 究 会



## 平成18年度 第6回定期研究会 議事録

日時 : 平成19年3月26日(月) 16:00~17:30

場所 : 愛知工業大学 本山キャンパス 2階 多目的室A・B

出席者: 山田, 伊藤, 舘石, 葛, 小塩 (名大), 久保, 渡辺 (名城大), 後藤, 小畑, 永田 (名工大), 青木, 鈴木 (愛工大), 中野 (愛知県), 前野 (名高速), 安藤 (富士E), 小川 (名古屋道路E), 佐光, 古市 (第一C), 吉田, 酒井 (川田), 武藤 (瀧上), 嘉津 (川田カ), 片山 (JIP), 山田, 高橋 (日車), 播金, 山田, 長屋, 村上, 江間, 古田土 (トピー), 藤澤

32名(敬称略)

### 1. 定期研究会 (青木 研究会担当幹事)

講演題目 「鋼橋の維持管理と耐震補強」

講演者 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 北田俊行

講演内容

日本では、約40年前の東京オリンピック(1964年)や大阪万国博覧会(1970年)などの折に多くの橋梁が集中的に建設されたため、現在では老朽化や疲労による腐食・損傷が多く報告されている。今後、これらの橋をどのように維持管理していくのかということが重大な社会問題となってきた。

また、これまでに建設されてきた橋梁では、機能性、経済性、および安全性が優先されたため、景観性が軽視されたり、騒音対策が十分でなかったりという問題も発生しており、周辺環境にも配慮した橋梁の建設が要求されてきている。

橋梁の耐震補強については、兵庫県南部地震や台湾地震の例について紹介があった。震災後の現地調査では、支承が壊れたために桁への被害が少なかったケースや、逆に支承が壊れなかったために桁の被害が大きくなったケースについて報告があった。また、これまでの歴史上、想定をはるかに超える大きな地震が発生したために橋梁が破壊することが多々あり、また、断層が上下にすべる内陸直下型地震が発生した場合は、現在の落橋防止装置を設けても落橋を免れられない可能性がある。この場合、桁連結をすることで桁一つが落ちるだけの被害で済むはずだったところが、連結しているために全ての桁に損傷を与える可能性もあるため、逆に連結しないほうが耐震性能上優れているという考え方もあるのではないかと、といった報告がなされた。

橋の耐震装置とは、地震が生じたときに機能を発揮するものであるが、地震の大きさや種類は毎回異なるため、全ての耐震装置が有効に機能するかどうかは非常に難しい問題である。つい先日、能登半島においても地震が発生したこともあり、参加者の関心が高く、落橋防止装置の有効性に対する考え方などについて、非常に活発な質疑応答が行われた。

以上//

## 講演題目 「鋼橋の維持管理と耐震補強」

大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻  
橋梁工学分野 北田俊行

キーワード：維持管理、環境問題、耐震補強、機能向上

### 講演概要

既設橋梁の機能およびその機能向上には、大きく分けて、疲労、腐食などの使用性、すなわち一般に言われている維持管理に関するものと、レベル 2 の地震に対する耐震性能に関するものとの 2 つがある。この講演では、鋼橋のこれらの 2 つの機能の現状、および機能向上策について、その概要を述べる。

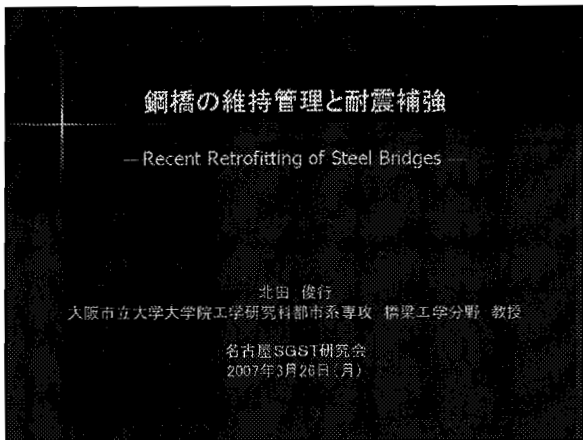
まず、わが国の橋梁業界の現状について、簡単に述べる。

次に、耐震以外の前者の機能向上策について、既存橋の損傷、特に腐食損傷および疲労亀裂について、それらの発生しやすい箇所と補修方法、最近問題になっている疲労亀裂や損傷、橋梁周辺と環境問題、理想的な橋梁環境、維持管理の定義の明確化など維持管理上の問題点、および維持管理システムの開発と問題点について述べる。

最後に、耐震に関する機能向上については、兵庫県南部地震における鋼橋（橋脚および支承を含む）の被害と原因、特に被害から学んだヒューズメンバーとしての支承の合理性、台湾の集集地震（1999 年、 $M=7.3$ ）の代表被害と復旧状況、内陸直下型濃尾地震（1891 年、 $M=8.4$ ）の恐ろしさ、内陸直下型の地震の被害の特徴（地震ごとに被害が大きく異なること）、兵庫県南部地震以降の橋梁の耐震設計法の動向、橋梁の免震・制震構造の動向、理想的なヒューズメンバーとしての支承構造の提案、耐震補強のための構造変更、立体鋼橋の動的弾塑性有限変位応答解析プログラム EPASS/USSP の紹介、名阪国道の逆ランガー桁橋（支間長 112m）である米谷橋の地震応答解析結果の紹介、および今後必要と思われる解析機能について述べる。

時間があれば、前者の機能向上策について、ついでに、米谷橋の維持管理対策前の損傷・不備の状況と補強方法についても簡単に説明したい。

以上



## 目次

1. はじめに
2. 既設鋼橋の機能向上
  - 2.1 鋼橋の代表的な疲労亀裂・損傷・腐食
  - 2.2 橋梁が周辺環境に及ぼす影響
  - 2.3 鋼橋の維持管理と問題点
  - 2.4 路線全体の橋の維持管理システムの開発と問題点
3. 鋼橋の耐震性向上策
  - 3.1 兵庫県南部地震による鋼橋(橋脚および支承も含む)の損傷と原因
  - 3.2 兵庫県南部地震後における橋梁の耐震設計法の動向
  - 3.3 橋梁の免震・制振構造の検討中の代表例とそれらの得失
  - 3.4 耐震補強のための構造変更
  - 3.5 強地震下の立体鋼橋の動的弾塑性有限変位応答解析プログラム
4. まとめ

### 1. はじめに

- (1) 日本では、既に、明石海峡大橋(吊橋で世界最長)、多々羅大橋(斜張橋で世界最長)などの世界的規模の橋梁が、数多く建設された。
- (2) しかも、経済不況のために、最近では、長大橋のみならず中小橋梁の建設の機会も極めて少なくなっている。
- (3) ところが、既設橋の維持管理の仕事は、年々増えてきている。
- (4) 1995年の兵庫県南部地震の後には、既設橋の耐震補強の仕事が増えてきている。

- (5) 東京オリンピック(1964年)、大阪万国博覧会(1970年)などの折に、多くの橋梁が集中的に建設され、それらの橋が古く老朽化しつつある。これらの橋をどのように経済的に安く維持管理していくかが、重大な社会問題になりつつある。
- (6) また、最近では、橋梁がその周辺環境に及ぼす負荷が問題となり、橋梁の環境負荷を低減する仕事も増えている。
- (7) 橋梁の発注や建設において、技術者倫理に関する問題が多発して、橋梁技術者の社会的な地位が低下しつつある。
- (8) 以上のような事柄より、橋梁建設の分野は、次世代を担う若者に魅力のない分野になりつつある。

## 2. 既設鋼橋の機能向上

### 2.1 鋼橋の代表的な疲労亀裂・損傷・腐食

図-1には、桁橋において腐食が発生しやすい場所を示している。このような情報に基づいて、塗装方法に工夫を凝らすと、経済性が出てくるかもしれない。

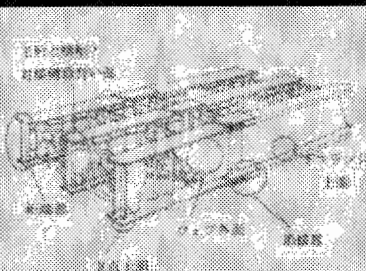


図-1 桁橋における腐食損傷の多い箇所

図-2には、同じく桁橋で、疲労亀裂の発生しやすい箇所を示している。この図に示す箇所の疲労亀裂については、ほぼ原因も解明され、補修方法も確立されている。

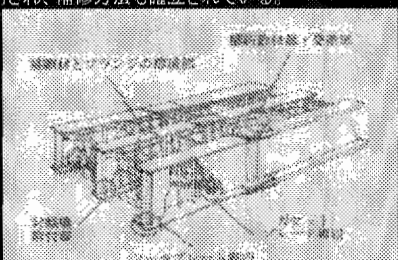


図-2 桁橋における疲労損傷箇所

最近、問題になった、あるいは問題になりつつある疲労亀裂および損傷としては、以下のものがある。

- (1) 橋上の付属柱状構造物(照明柱、標識柱など)の基部取り付け部の疲労破断  
(写真-1、写真-2、写真-3)
- (2) ラーメン橋脚の隅角部の溶接施工性に起因する亀裂の多発  
(写真-4、写真-5、図-3、および図-4)
- (3) 鋼床版の疲労亀裂(今後、大きな問題となりつつある)
- (4) 伸縮継手の破損(耐久性に優れた、騒音源とならない伸縮装置が多数開発されている)
- (5) 橋歴板の応力腐食割れによる落下(写真-6)
- (6) 歩道橋へのトラック衝突事故
- (7) 老朽化した歴史的に資産価値のある橋梁の保全



写真-2: 傾倒した照明柱と衝突事故現場の例



写真-4: 西条駅前電柱を貫する疲労(ラーメン橋脚の中)



図-3: ラーメン橋脚隅角部割れの状況  
(多数の溶接継ぎ目によるコーナー部(溶接なし)に亀裂が発生)

## 2.2 橋梁の周辺環境に及ぼす影響

現在に至るまで、数多くの橋梁が建設され供用されてきた。これらの橋梁が都市の道路網において果たす役割は非常に大きい。

しかしながら、今までの橋梁建設では、機能性、経済性、および安全性を優先し、それが周辺環境に及ぼす負荷に対して、必ずしも十分な配慮がなされていなかった。

今日では、このような橋梁でなく、周辺環境にも配慮した橋梁の建設、既設橋に関しては、周辺環境に調和するように、それらを取りフレッシュすることが要求されている。

### (1) 事例紹介

橋がその周辺環境に及ぼす負荷やそれを軽減した事例を以下に挙げる。

#### ① 天取市の菅原城北大橋(写真-7)

この斜張橋の端橋脚の1つは、河川敷の池の中に設置される予定であった。しかし、天然記念物である魚の保護のために、その橋脚が取り除かれた。

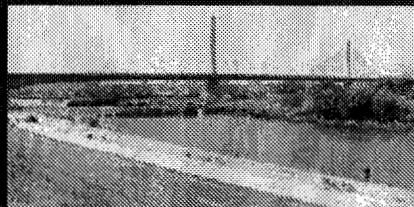


写真-7: 日本列島を築くための橋脚が取り除かれた様子

②高架橋に隣接しているマンション(写真-8)

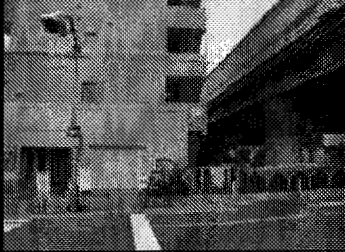


写真-8 マンションと高架橋が接近し過ぎているため騒音が大きい

③大阪市・東横堀川の上の高架道路(写真-9)



写真-9 橋下空間が狭く、騒音傾向が大きい

(2)騒音対策の例

騒音の発生源は、図-6に示すように、自動車伸縮継手を通過する時の衝撃音、および自動車走行による桁のたわみ・振動音である。桁のたわみ・振動は、桁端部のたわみ角と関係し、自動車が支間中央付近に来ると桁端部のたわみ角が大きくなり、支承構造内で衝撃的なすべりを誘発して衝撃音を出す。

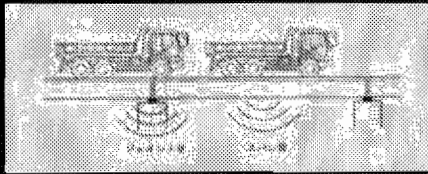


図-6 自動車・騒音の発生

これらの衝撃音が、橋桁の腹板などの鋼製部材を振動させる。これらの鋼製部材の振動の減衰性が悪いと、一度、振動が発生すると、次々とやってくる自動車走行による衝撃音によって、その振動が増幅されていき、不快な騒音となる。このような振動を止める方法として、図-7に示すように、腹板に制振材を取り付ける方法が開発されている。

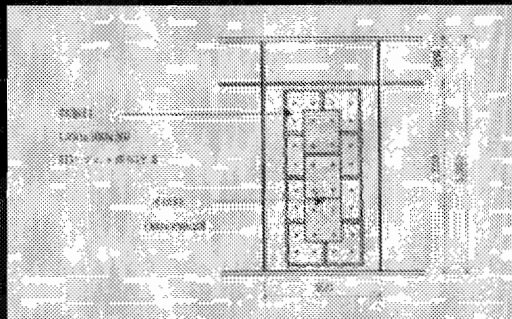
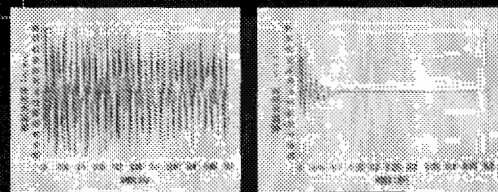


図-7 鋼製腹板面に制振材を取り付けた例(寸法:mm)

このような制振材を取付けると、図-8に示すように、腹板の振動はすぐに減衰し、不快な騒音は発生しなくなる。



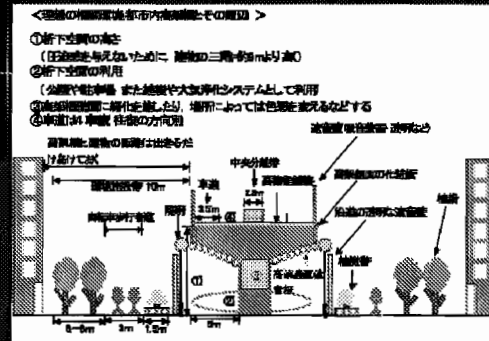
(a)制振材未取付 (b)制振材取付後の減衰

図-8 振動の減衰(制振材取付後)



### (3)理想の橋梁環境

以上の種々の事例を参考にして、都市内の高架高速道路橋の理想的な橋造例のイメージ図を考えて、次の図に示している。



### (4)振動・騒音解析プログラム開発の必要性

橋上を自動車が走行することによって発生する振動・騒音問題を解決するために、対象となる個別の事例に対して可能な低減対策を模索する上で、例えば、①都市内の高架橋上を走行する自動車の振動が、周辺地盤を介して隣接する住環境に伝わり、それらを振動させる現象、および②橋から発生する音が隣接する住環境に伝わる現象を解析できるプログラムの開発が必要である。

### 2.3 橋の維持管理の問題点

ここでは、鋼橋の維持管理に関して、解決が難しいと考えられる問題点をリストアップしている。その中の1つについては簡単な説明を加えている。その他の項目については、文献7)北田俊行:これからの既設橋梁の維持管理について、片山技報、No.24、「特別寄稿」、pp.1-9、2005年1月を参照してください。

#### ■ (1)維持管理の定義の明確化

■ 構造物の耐用年限中に、その機能を一時期停止しなくてはならないほどの補修あるいは補強を行うことなく、①常に所定の安全率が確保された状態に構造物を保っておくこと、②損傷による破片などが落下し、周辺・橋下における人的・物的な二次災害を引き起こさないようにしておくこと、さらに③騒音、振動、および景観から周辺住民の生活に害を及ぼさないようにしておくために必要なすべての作業を、維持管理という。

#### ■ 他の問題点

- (2) 既存構造物の安全性の判定・評価方法の確立、および、その結果の公表
- (3) 補修・補強の優先順位の明確化
- (4) 維持管理費が十分でない場合の対策の明確化
- (5) 維持管理・補修・補強システムの開発
- (6) 橋の寿命の決定
- (7) 効果的な予算の使用法
- (8) 効率のよいフィードバック・システムの開発
- (9) 老朽橋の架け替え工法について
- (10) 維持管理用語の統一



- (11) モニター橋、モニター部材、およびモニター部位などによる維持点検の省力化
- (12) 点検方法の合理化・低コスト化
- (13) 十分な維持管理予算の確保の方法
- (14) 美観あるいは耐震性と維持管理性との両立
- (15) 新材料・新技術の開発
- (16) 標準化とスベア部材の準備
- (17) 橋の点検技術者の育成
- (18) データの収集方法の検討
- (19) 応急対応システムの開発
- (20) 最適な点検頻度とトータルな維持管理費の縮減
- (21) 資産評価の実施

## 2. 4路線全体の橋の維持管理システムの開発と問題点

私(北田)は、種々の高速道路橋の維持管理システム作成の助手俵いをしてきた。これらの活動を通して感じた問題点を、以下にまとめる。

- (1) 対象とする既存の全橋梁の現状(健全度)を正確に把握して、現在の予算のままであれば、後何年健全な状態を確保できるかを推定して公表することが大切である。
- (2) 目的とする耐用年数まで健全に保つには、予算アップ、機能の制限など、どうすればいいのかを明確にして公表することが大切である。
- (3) これらの推定にあたり、中小橋梁については、現存する資料で、ある程度の精度で、必要経費を概算することができる。

- (4) しかし、長大橋や特殊橋は、中小橋梁のように取り扱えず、それぞれの橋について、個別に詳細に検討して必要経費を概算することが必要である。
- (5) 設計段階で考慮しなかった、巨大な地震の発生、事故の発生、設計条件の変更などに伴って必要となる経費を、どう見積もるかが難しいが、ある程度予算化しておくことが必要である。
- (6) 強度等の機能の劣化曲線が必要になるが、この曲線は、絶えず更新できるように、現場のデータをモニターしていくことが大切である。
- (7) 貨幣価値、金利の変動も考慮に入れた維持管理計画が必要である。
- (8) 橋梁は社会基盤構造物であるため、対象橋梁の資産価値を評価するときは、その社会的な貢献度も評価の対象にすべきである。
- (9) このような検討の結果は、すべて一般の人々に、公表することが大切である。

## 3. 鋼橋の耐震性能向上策

説明にあたり、最初に、日本で標準的に採用されている桁橋の支持構造、すなわち支承、鋼製橋脚、基部アンカーボルト、アンカーフレーム、フーチング、および基礎杭を、図-10に示す。

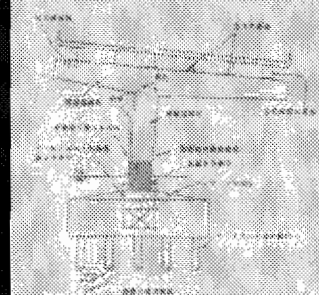


図-10 橋脚的/鋼製桁橋脚脚の1次支持構造と従来の1次支持構造

### 3.1 兵庫県南部地震における鋼橋(橋脚および支承も含む)の損傷と原因

#### (1) 被害

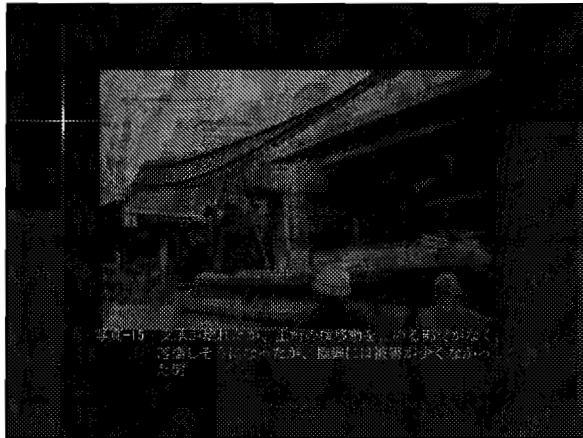
本日は、兵庫県南部地震による鋼橋の被害の中でも桁端部の損傷のみについて説明します。

支承が壊れない場合、あるいは壊れても桁や脚に突き刺さり桁と脚とが一体化した場合、桁端部が大きく損傷した。特に端横桁が崩壊した場合には、被害が大きくなった。桁端部が壊れない場合、橋脚に被害が生じた。しかし、支承が壊れると、桁や橋脚の損傷は小さかった(写真-13、写真-14、写真-15)。



写真-13 支承が壊れなかった場合の桁端部の大きな損傷

写真-14 支承が壊れたため桁と脚が一体化し損傷が小さくなった場合



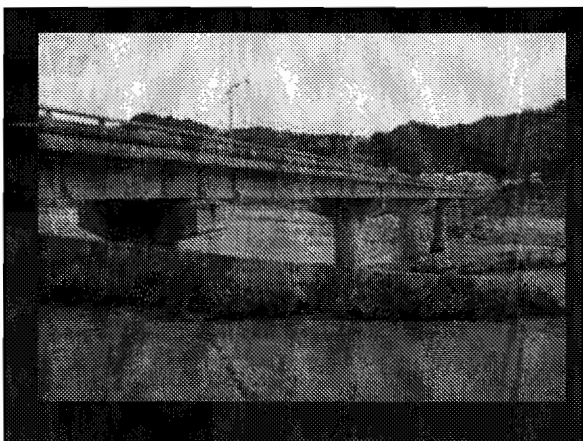
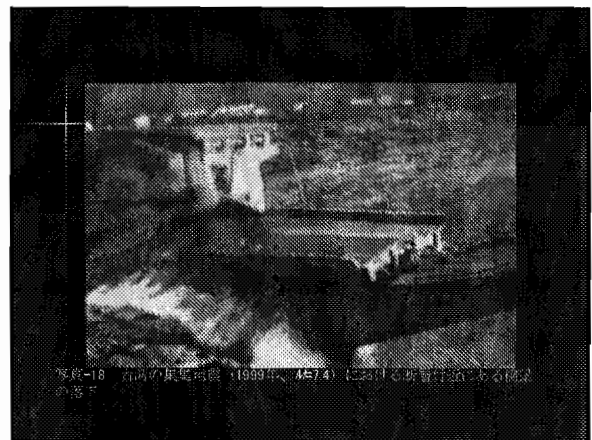
(2) 損傷の原因

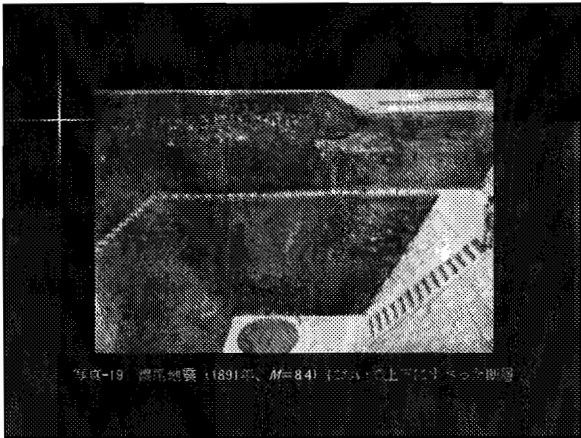
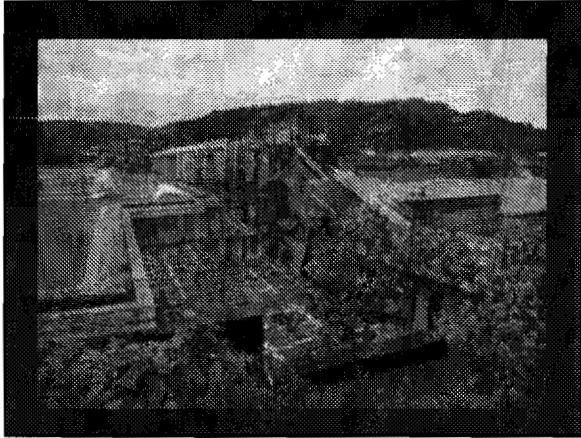
以下に、地震による損傷の原因について考察している。

- 1番の原因は、設計で考えていた以上の大きな地震動が発生したためである。
- 兵庫県南部地震以前の設計では、200~300gal程度の応答加速度(レベル1地震動)で弾性設計(安全率1.13)されていた。さらに、関東地震クラスの大地震を想定した弾性応答加速度が1,000galの地震に対しては、塑性変形を許した安全性の照査が行なわれていた。
- しかしながら、実際に兵庫県南部地震で発生した最大の弾性応答加速度は2,000gal程度で、予想をはるかに上回るものであった。

(3) 考察

- 兵庫県南部地震後の日本の耐震設計は、兵庫県南部地震の被害に大きく影響されている。しかし、台湾で最近に発生した地震(集集地震、1999.9.22、 $M=7.4$ )は、兵庫県南部地震のように断層が横にすべるのではなく、上下方向にすべった(写真-18)。
- 台湾の地震の被害は、兵庫県南部地震の被害と大きく異なっている。したがって、日本の耐震設計においては、兵庫県南部地震の被害や補修・補強方法のみならず、台湾の集集地震における橋梁の被害や補修・補強方法も参考にすることが大切である。
- 上下に断層がすべった内陸直下型地震として、日本にも $M=8.4$ の巨大な濃尾地震がある(写真-19)。





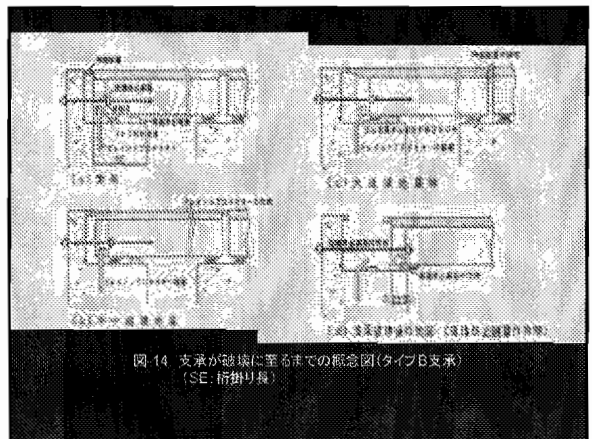
### 3.2 兵庫県南部地震後における橋梁の耐震設計法の動向

(中)兵庫県南部地震後の耐震設計法

- 耐用年限(100年)中に起こる可能性が大きいレベル1の地震動のみでなく、発生の可能性が少ない強地震動である、関東地震(海洋プレート型、 $M=7.9$ )や兵庫県南部地震(内陸直下型、 $M=7.2$ )に相当するレベル2の地震動に対する安全性の照査、すなわち機能は失うが崩壊しないという照査が必要になった。
- ただし、橋脚の断面寸法はレベル1の地震に対する弾性強度でほぼ決まり、レベル2の地震動に対しては、橋脚の塑性変形を認めて、橋脚の剛性を低下させ地震力を低減させることによって、対処する方法が採用されている。

- 免震ゴム支承が多用されるようになった。
- 桁どうしが衝突しないように桁端の遊間を大きくしたり、落橋しないように桁掛り長(図-14(a)のSE)が長くされたり、変位制限装置を設けたりするようになった。
- レベル1以下の地震動に対して伸縮継手を壊さないように、変位を拘束するジョイントプロテクターが設けられるようになった。
- 支承が壊れると、桁端部に段差が出来て、緊急時の車の安全な走行が阻害される。そこで、段差防止構造も設置されるようになった。
- このように、桁端部では、落橋防止構造、変位制限装置、段差防止構造、ジョイントプロテクター等の耐震部材が設けられるようになり、桁端部が複雑になった。

タイプA支承:レベル1の地震に対抗できる支承  
 タイプB支承:レベル2の地震にも対抗できる支承



- 落橋しないように連続桁橋が積極的に採用されるようになった。
- 既存の単純桁橋が多数連続するところでは、それらを数橋連結して、活荷重や地震荷重に対しては連続桁構造とするノージョイント化が積極的に行われるようになった。このような構造は、耐震上のみならず、伸縮継手の数が減るので、維持管理費の節減や騒音の低減にも効果的である(写真-20)。

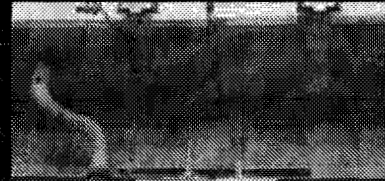


写真-20 既設する単純桁橋を連結するノージョイント構造の例

- レベル2の地震に対する照査は、弾塑性動的応答解析が用いられるようになった。
- 弾塑性動的応答解析に用いる地震加速度波が、地震種別(レベル1、レベル2タイプⅠ、レベル2タイプⅡ)、および地震種別に対応して種々準備された。
- これらの3つの設計地震動の特徴は、以下のとおりである(図-11、図-12、図-13)。

- ①レベル1:最大の弾性応答加速度 300gal  
この地震動で弾性設計が行われる
- ②レベル2:この地震動に対しては部材の塑性化を許している。
  - ・タイプⅠ:  
海洋プレート型地震、最大の弾性応答加速度1,000gal
  - ・タイプⅡ:  
内陸直下型地震、最大の弾性応答加速度 2,000gal

## (2)落橋防止構造(旧耐震連結材、Restrainer)の必要性について

レベル2の地震を上回る規模の地震に対して、落橋を防止する構造が必要かどうかについて考察する。

橋脚と橋桁との繋がりを剛から柔にするほど橋脚に作用する地震力は大きく低減される。しかし、橋脚と橋桁との繋がりを完全に切ると、落橋の可能性が出てくる。また、レベル2の地震を上回る超強地震動に対しては、隣接桁どうしを連結しておく、集集地震のように断層付近の橋桁のみが落下していたものが、連結しているがために、芋蔓式に多数の隣接桁を引き揃り落とすこともないとはいえない。

このようなことが発生するのなら、落橋防止構造は設置しない方がいいように思われる。また、レベル2の地震を上回る超強地震動に対しては、桁端部の耐震ツールが期待通りに挙動するかが否か不明な点が多いので、隣接桁どうしを連結していても落橋する可能性がないとはいえない。このようなことを想定すると、私には、以下のようなコンセプトがいいように思われる。

- ① 落橋防止構造はやめて、レベル2以上の地震動に対しては、他の構造を考えるが、いい構造がなければ、落橋を許してもいいのではないか。ただし、落橋を許す場合、復旧が容易な対策を検討しておく必要がある。例えば、スベア部材を用意しておくなど。
- ② レベル1以下のあるレベルの地震動で、免震ゴム支承を機能させるか、トリガー機能を持たせたメタル支承を壊して橋脚と橋桁との繋がりを切る。



- ③ 免震ゴム支承が機能したり、メタル支承が壊れる時点から、隣接桁どうしを連結している桁間緩衝材を機能させて、さらに地震力を低減するとともに、この緩衝材を落橋防止構造としても機能させる。
- ④ しかし、この緩衝材は、レベル2の地震動を上回るあるレベルの地震動に対しては壊れるようにしておき、地震被害を超強地震動が発生する付近の橋梁にのみとどめるようにする。
- ⑤ 落下した橋梁の復旧は、スベア部材を使って、短時間でできるように検討しておく。

**3.3 橋梁の免震・制震構造の検討中の代表例とそれらの得失**

(1) 2次部材による塑性ダンパー

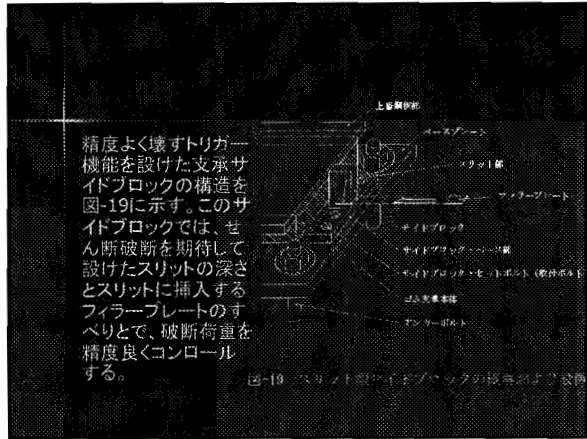
ここでは、特に2次部材あるいは追加部材による塑性ダンパーによる制震構造について述べる。この方法は、比較的早期に2次部材あるいは追加部材を塑性変形させ、構造全体の減衰性を高めることによって、応答地震力を低減する制震設計法である。

この方法では、応答地震力の低減に限界があるが、構造物の剛性や強度は、耐震補強後も、大きな地震発生後も大きな変化がなく、大きな地震後に塑性ダンパーである2次部材あるいは追加部材を交換すれば元の状態に復元できるので、復旧が容易である。このような塑性ダンパーとして、橋梁では、現在、①摩耗を防止した鋼材を軸方向に塑性化させるダンパーと、②低降伏点鋼の板をせん断変形させるダンパーとがある。このような塑性ダンパーを効率よく使うには、その効果を検証できる動的な弾塑性有限変位解析プログラムが必要である。

(2) ヒューズメンバーとしての支承

支承をヒューズメンバーとして利用する免震設計法では、設計で定めた値以上の地震力が支承に作用すると、支承が壊れて、それ以降は、支承を壊に、それより上の上部構造と下部の橋脚・基礎構造とを分離して、地震動が、上部構造に伝達されない。この方法では応答地震力を大きく低減することが可能であるが、地震時に上部構造と下部構造とが分離するため、落橋の危険性があり、上部構造と下部構造との接合部である支承周辺で衝突やすべりによる損傷が発生するため、それをコントロールするための設計が難しくなる。

すなわち、衝突やすべり現象の定式化、精度よく壊すトリガー部材の設計、衝突を緩和するための緩衝材の設計、伸縮継手などの部材の存在がヒューズ機能を妨害することなどの難しい問題がある。しかし、これらの問題を解決すれば、地震力の大きな低減が可能となり、画期的なコスト縮減が実現できる。



緩衝材の1つである鋼製ペローズ、および、その設置方法の概念図を、それぞれ図-21および図-22に示す。

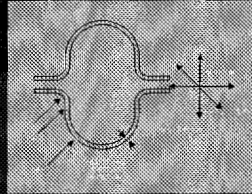


図-21 鋼製ペローズの概要図

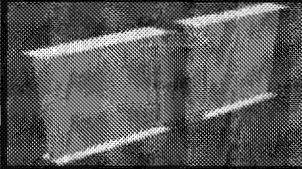


図-22 鋼製ペローズの設置方法

文献(21)では、限定した解析モデルについてであるが、鋼製ペローズを設置すると、設置しなかった場合に比べ、上部構造変位は、橋軸方向で1/5程度に、橋軸直角方向でも1/2程度に低減できること。橋脚の変位は、橋軸方向および橋軸直角方向とも1/4程度に低減できること。ならびに、鋼製ペローズの低サイクル疲労による亀裂発生寿命は、Manson-Coffin則等で評価できることを明らかにしている。

### (3)地震荷重の低減方法について

—免震ゴム支承、塑性ダンパー、および緩衝材をうまく組合せて使うことによって、応答変位を制御しながら発生地震力を大きく低減することができる。

例えば、現在、日本では、レベル1の地震で弾性設計が行われている。しかし、普通鋼からなる緩衝材と併用して、低降伏点鋼からなる緩衝材をうまく用いることによって、発生地震力をレベル1の弾性設計の場合以下に低減することが可能である。これが実現すると、橋梁建設コストの低減に繋がる可能性がある。

### (4)ヒューズメンバーとしての支承の問題点の整理

#### ①支承から上部構造の浮き上がりの防止

支承から上部構造が離れて浮き上がると、落下したときに大きな損傷が生じる。浮き上がった上部構造の落下による損傷を緩衝材で吸収するのは難しいし、可能であっても大きなコストがかかる。したがって、浮き上がりが発生しないような構造にすることが必要である。

#### ②衝突やすべり現象の定式化

■ 支承周辺は構造が複雑であり衝突時および衝突後の定式化が難しい。また、すべり面は、経年変化も大きいので、すべりの定式化も難しい。

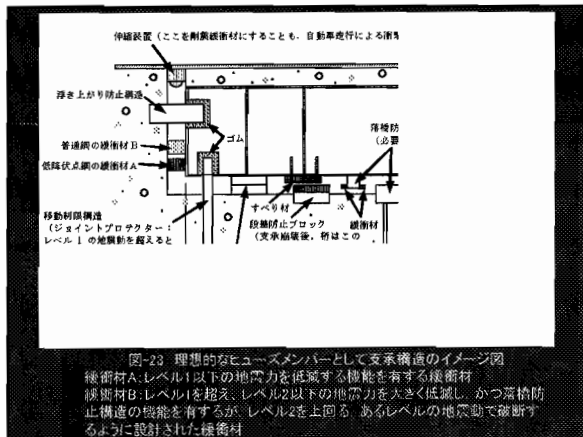
③精度よく環すトリガー部材の開発が必要である。

④桁とおしの衝突を緩和するための緩衝材の適切な使用が必要である。

⑤伸縮継手などの部材によるヒューズ機能の妨害の除去

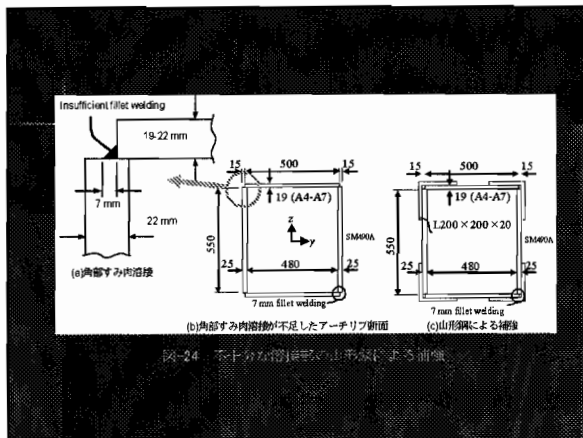
■ 伸縮継手、落橋防止システム、壊れた支承、および桁端部は、ヒューズ機能を妨害しないように、設計・改良する必要がある。これは簡単そうで、簡単にはいかないようである。

理想となるトリガー機能を有するタイプA支承(レベル1の地震までしか対抗できない支承)を用い、浮き上がり防止構造を設け、2種類の緩衝材AとBとを用い、さらに落橋防止構造を取り除き、私(北田)が理想と考える支承のアイデアを、図-23に示している。この案に対して、種々のコメントをいただきたい。



### 3.4 耐震補強のための構造変更

耐震補強のために、構造部材の断面を補強したり、全体の構造形式の変更も考えるべきである。例えば、後述する奈良県の西名阪国道にある2ヒンジアーチ橋は、耐震補強の面から両端固定アーチ橋に変更された。また、同橋では、床版を支持する補強桁は非合成構造になっていたが合成構造に変更された。さらに、同橋のアーチリブ断面のコーナーは、図-24に示すように、強地震時の繰り返し塑性ひずみに耐えるには不十分な溶接であったので、コーナー部は、図-24(c)のように、外側から設置できる特殊なワンサイド高力ボルトを用いて山形鋼で補強された。



### 3.5 強地震下の立体鋼橋の動的弾塑性有限変位解析プログラム

(1) プログラムEPASS/USSPの紹介

強地震下の立体鋼橋の動的弾塑性有限変位解析のために、大阪市立大学とIIPテクノサイエンス㈱とで開発したプログラムEPASS/USSPを紹介する。このプログラムの機能は以下のとおりである。

- ① 薄肉鋼梁柱要素、銅板要素、銅シェル要素、鋼ロッド要素、鋼ケーブル要素、コンクリートブロック要素、コンクリート板要素、コンクリートシェル要素、コンクリート梁柱要素などの有限要素がある。
- ② これらの要素のからなる構造物の静的および動的な弾塑性有限変位解析が可能である。
- ③ 鋼部材に含まれる溶接による残留応力および初期たわみが考慮できる。
- ④ 鋼・シェルパネル、部材、および構造全体の座屈・耐荷力が解析できる。





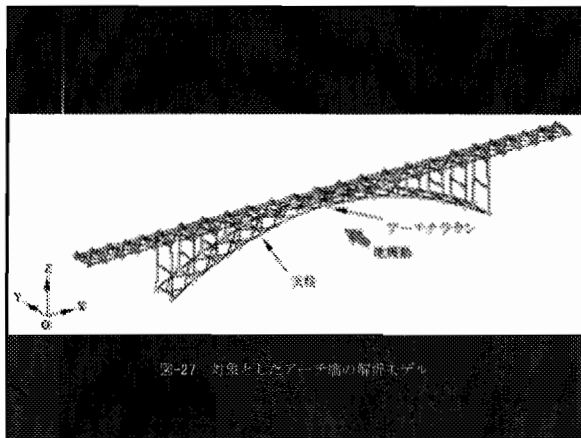


図-27 対象としたアーサ橋の解析モデル

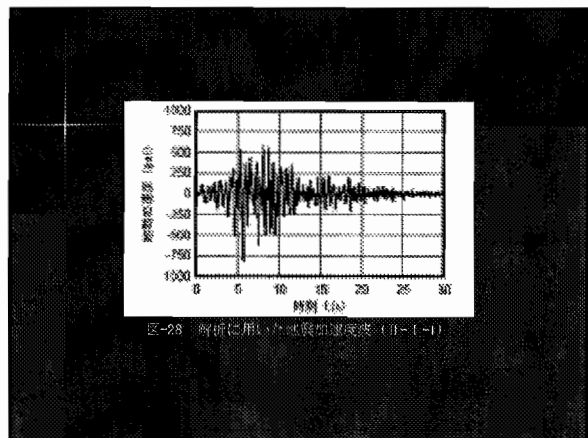


図-28 解析に用いた地震加速度 (H-1-1)

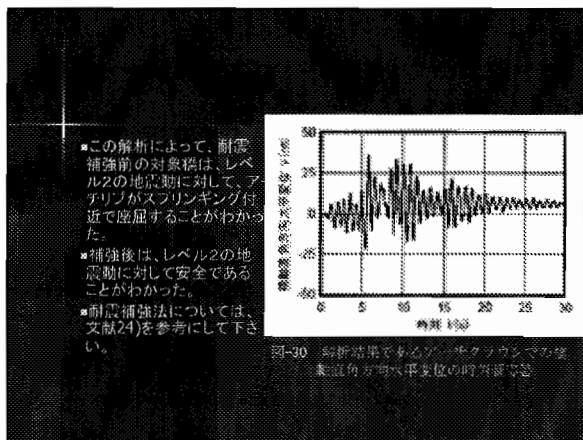


図-29 解析結果であるアーサダクワンマシタ  
架設角が水平位置の時震動記録

- この解析によって、耐震補強前の対象橋は、レベル2の地震動に対して、アサダクワンがスプリング付近で屈曲することがわかった。
- 補強後は、レベル2の地震動に対して安全であることがわかった。
- 耐震補強法については、文献(24)を参考して下さい。

(3) 必要な解析プログラム

— 塑性ダンパー、塑性変形を期待する緩衝材、非線形な構成則を持つ免震ゴム支承、ヒューズメンバー支承、トリガー機能を有する変位制限ブロックなどをうまく利用した経済的で、維持管理・交換が容易な免震・制震設計を行うには、思いついたアイデアを検証するツール、すなわちEPASS/USSPように、上記の耐震ツールの取り扱いが可能で、立体の鋼構造、および鋼とコンクリートとからなる複合構造の動的な弾塑性有限変位解析が可能で必要なプログラムが必要である。

さらに、より高度な耐震設計および耐震補強を行うには、以上の機能以外に、以下の3点が考慮できるプログラムの開発が望まれる。

- ① 橋梁を支える地盤を弾性バネあるいは非線形バネでモデル化するのでなく、地盤の弾塑性崩壊をもシミュレートできるようにして、地盤と橋梁との連成挙動を取り扱えるようにする。
- ② 塑性ダンパーや緩衝材の設計精度を上げるために、これらの部材に大きな塑性ひずみが繰り返し作用した場合の低サイクル疲労亀裂発生現象をプログラムに組み込む。
- ③ ヒューズメンバー支承が壊れてからの挙動、すなわちスベリダンパー的な挙動を定式化して、プログラムに組み込む。

4. まとめ

- (1) 日本における既設橋、特に鋼橋の使用性(活荷重、周辺環境負荷)、および耐震性に関する現状、および、それらの機能向上(維持管理も含む)に関して、お話をした。
- (2) 鋼橋分野の今後の持続的な明るい発展に関して、以下の点に配慮することが大切であると思っています<sup>25)</sup>。
  - ① 厳しい国家試験などで橋梁技術者の資格の認定を明確にする。
  - ② 橋梁技術者の倫理規定を明確にして、必ず守る。
  - ③ 橋梁の仕事の大切さを一般の人々に知っていただくよう努力する。

- ④このようにして、橋梁技術者の社会的地位を向上させる。
- ⑤そうすると、優秀な若者が橋梁の分野に集まってくる。
- ⑥そのようになると、最終的に、重要な都市・社会基盤構造物である橋梁の着実で、健全で、周辺環境と調和した橋梁構造物の建設、維持管理、および機能向上が実現する。

(4) 講演内容に関する質問、それ以外の橋梁に関する問い合わせがありましたら、下記に連絡ください。

(5) 連絡先

〒558-8585 大阪府大阪市杉本3-3-138  
大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻  
教授 北田 傑行

メールアドレス: [kitada@civil.eng.osaka-cu.ac.jp](mailto:kitada@civil.eng.osaka-cu.ac.jp)

(6) これで講演を終わります。ご清聴ありがとうございました。