

構造物耐震設計方法の研究委員会報告

久保慶三郎

1. 緒論

本報告は国鉄が学会に依託した構造物耐震設計方法の研究に關して委員会（委員長沼田政矩教授）がまとめたものである。日本国有鉄道の無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート土木構造物の設計基準（案）にこれ等の土木構造物の耐震設計が規定してあるが、設計基準（案）の震度は振動学的観点から主として規定されており、構造物の基礎と耐震性との關係、耐震に対する構造学的欠陥等の統計的考慮が追加されるべきではないかと思われる。現在国鉄において実施されている設計基準（案）に規定されている地盤別、構造物種別による震度を改訂することは非常に困難な問題であり、資料も十分に整い得ないと思われるので、震害例の統計的調査を行い、震害の実体を把握し、震度法と震害との關係、耐震上から見た構造物の弱點の解明を行うことにした。

土木構造物のうち、今年度は橋梁、特に橋台、橋脚の被害に限定して考察することにした。橋台、橋脚の耐震設計法の解明によつて擁壁その他の構造物の耐震設計も附隨的に明らかにされるものと考えた。また研究の対象とすべき過去の地震として地震の記録が比較的整備されている点からして、関東（ $M=7.9$ ）、南海道（ $M=8.1$ ）、今市（ $M=6.5$ ）十勝沖（ $M=8.2$ ）、福井（ $M=7.2$ ）の5地震とした。

II. 現行耐震設計示方書

震害調査結果を述べるに先立つて、現行の耐震規定を記す。日本国有鉄道の無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリート土木構造物の設計基準（案）にこれ等の土木構造物の耐震設計が次のごとく規定してある。

19条 地震

死荷重、土圧および水圧にたいしては地震の影響を考えなければならない。地震の水平震度として一般に表-7に示す値を用いる。鉛直震度を考える場合には、その値は水平震度の $1/2$ とする。

設計に用いる水平震度

区分	地方	都 道 府 県	水平震度
A	北海道	根室、釧路国、十勝	0.3
	関東	千葉、埼玉、東京、神奈川	
	中部	山梨、長野、静岡、愛知、岐阜	
	近畿	滋賀、京都、兵庫、三重、奈良、大阪、和歌山	
B	北海道	留萌、網走、上川、空知、石狩、後志、日高 胆振、渡島、檜山	0.2
	奥羽	青森、岩手、秋田、宮城、山形、福島	
	関東	茨城、栃木、群馬	

区分	地方	都 道 府 県	水平震度
B	中部	新潟、富山、石川、福井	0.2
	中国	鳥取、岡山、広島	
	四国	香川、徳島、愛媛、高知	
C	北海道	宗谷	0.15
	中国	島根、山口	
	九州	大分、福岡、佐賀、長崎、宮崎、熊本、鹿児島	

解説

構造物の設計に当つては、地震の影響は便宜上、構造物、土、等に表-7に示した加速度が静的に加わるものと仮定する。この加速度は地震動によつて構造物および基礎地盤中におこる最大変形と同一の変形をおこさせるのに必要な静的加速度であつて地域、地盤、構造物の種類、強度計算、安定計算の別、構造物の背面土、および基礎地盤のそれぞれの振動性状を考慮したつぎの表-aおよび表-bに基いている。

表-a 設計に用いる水平震度

計算の種類	自由に振動する構造物の強度計算						自由に振動する構造物の安定計算および土圧の影響を考慮する場合の強度および安定計算		
	マッシブな構造物			スレンダーな構造物					
地域区分 地盤の種類	A	B	C	A	B	C	A	B	C
カ1種地盤	0.35	0.25	0.20	0.20	0.15	0.10	0.20	0.15	0.10
カ2種	0.25	0.15	0.10	0.30	0.20	0.15	0.25	0.20	0.15
カ3種	0.15	0.10	0.10	0.30	0.20	0.15	0.30	0.20	0.15
カ4種	0.15	0.10	0.10	0.30	0.20	0.15	0.35	0.25	0.20

表-b 地盤の種類(1)

名 称	地 盤 の 種 別
カ1種地盤	2m以下の厚さの沖積層 ⁽⁴⁾ を表面としてもち、その下にすぐ相当広範囲にわたつてカ三紀以前の堅硬な地層がある地盤
カ2種	3~15mの厚さの洪積層 ⁽²⁾⁽³⁾ または2~10mの厚さの沖積層 ⁽⁴⁾ を表面層として有する地盤
カ3種	15m以上の厚さの洪積層 ⁽²⁾⁽³⁾ または10~25mの厚さの沖積層 ⁽⁴⁾ を表面層として有する地盤
カ4種	若くは軟弱な地盤 ⁽²⁾ または25m以上の厚さの沖積層を有する地盤

(2)(3)(4)(5)の註は参照

鋼鉄道橋設計示方書では、

カ14条 地震の影響は、無載荷の状態又はカ6条に規定する等分布荷重を載荷した場合について考慮するものとする。この場合衝撃は加算しない。震度は、次の各号の値を標準とする。但し、架橋地盤の状況を考慮してこれを増減することができる。

(1) 水平震度 0.2

(2) 鉛直震度 0.1

と規定してある。

以上が国鉄における現行の耐震設計である。

Ⅲ、震害の統計的調査

ここで調べた震害には、地震による火害、津波の害は除く。また木橋の震害も除く。震害調査は関東、福井（北陸）、南海、十勝沖、今市の各地震の資料をもとにして行った。

まず、橋台、橋脚の震害調査カードにより各橋の震害を調べた。カードは土木学会に保管してある。これをもとにして震害調査表をつくった。また十勝沖地震において震害をうけた橋を地図の上にプロットして各地方の震度と震害の分布を調べた。

個人の構造別の震害の傾向についてはⅣ章にのべるが、震害の一般的傾向として次のことがいえる。

イ) 震度Ⅲ（8～25 gal）では全然被害がない。震度Ⅳ（25～80 gal）にはほとんどまれで、本当の意味で震害がみられるのはⅤ（80～250 gal）以上のところである。

ロ) 地盤の種類が被害の大小に大いに影響するものと思われる。一般に沖積地に被害が多い。

ハ) 上部と下部とは関連の深いものであり、耐震的に別々に分けては考えられない。下部の被害により上部が落下したと考えられるものもあり、また上部の落下が下部の被害を大きくしたと思われるものもある。

構造差と橋の震害との関係を調べるために橋の震害率と家屋の倒潰率との関係を調べた。一般の家屋は多少の差はあつても、大体似た構造のものが多いためその倒潰率は地震の強さのパロメータであると考えられる。福井地震の北陸本線の駅間の橋梁総数と震害橋梁数とが報告されていたので、その駅間の鉄道橋梁震害率と家屋の倒潰率との関係を求めた。水平軸は距離をあらわし、震央と考えられている森田駅春江駅の中点（厳密な意味での震央ではないが）を原点とした。えられた結論は次の通りである。

1) 家屋倒潰率は震源地近くで高く、ある距離離れると急激に減少する。これは倒潰率の高いところは福井平野の沖積地で、急激に減少するのは、震央からの距離がはなれると同時に丘陵地に入つてゆくからである。

2) 橋梁の震害率は震源地付近で最高の値を示しているが、一般には震央からの距離の簡單なる関数では表わし得ない。

3) 家屋倒潰率が高いにもかかわらず、橋の震害率の低い区間がある。

4) 牛の谷駅、細呂木駅付近では、家屋倒潰率とは逆に、橋の震害率が高くなつている。この付近は築堤が多く、地表からの高さの高い橋が多かつたことに原因しているのではないと思われる。なお、この付近の築堤も著しい沈下が起つていた。

5) 土木構造物の場合は、構造物の高さ、基礎地盤、材料等個々別々であり、そのために震央からの距離とともに震害率が単純に減少するのではなく、一度減少し、さらに再び大きくなることもあり、基礎地盤の地震の強さのみでは、構造物の耐震性を論ずることが

できないのではないかと思われる。

Ⅳ. 震害の構造別調査と考察

得られた表から構造別による橋梁の震害を調べた。調査した項目は桁、支承、橋脚、橋台、および井筒であつたが、ここには橋脚と橋台の2項目についてその概略を述べる。

§ 1. 橋脚の震害

橋脚の被害は上部構造の重量と橋脚の断面との関係、材料の種別、地表面上の高さ、地盤の種類、けたが落下したかどうかなどに関係がある。基礎面上の高さが同じ橋脚では根入れの深いものほど被害が少ない例が多い、根入れは橋脚の振動に対しダンピングを強くし、橋脚の振中を小さくする。橋脚の震害を軀体自体の破壊と橋脚基礎の破壊によるものの2つに別ける。

i) 軀体自体の亀裂、切断； ソリッド型式の橋脚では水平切断された例が多いが、石積、煉瓦積のほうがコンクリート造のものより被害が幾分か多い。鉄筋コンクリートのソリッド型式ではこの種の被害はほとんどみられない。水平切断箇所は地表面付近に多く、高い橋脚では地表面上に数カ所で切断されている。施工継目における切断が多いようだ。支柱式橋脚では柱と水平材結合点近くで、柱または水平材が圧潰し、鉄筋が露出したものが多い。地震動により柱が別々に運動、沈下したためと思われる被害が多い。ラーメン式鉄筋コンクリート橋脚で、軀体には被害がないが、井筒と橋脚との継目が開口して鉄筋が露出し、橋脚が傾斜した例がある。

ii) 基礎の沈下、傾斜； ソリッド型式の橋脚では、けたの落下、橋脚の切断による傾斜はあるが、基礎自体の傾斜は普通のばあいには比較的少ないようである。ただ、斜面にある橋脚では斜面の崩壊にともなう傾斜を生じた例があり、河川では洗掘をうけた側に傾斜した例がみられる。また、同じ橋脚の基礎に、べた基礎と杭基礎を併用したものは、べた基礎の方向に傾斜した例がある。沈下のいちじるしい例は、ゆるい砂質地盤に多いようである。いずれも根入れの浅いものが大きいようである。地震による沈下と報告されているもののなかには、圧密などによる地震外の原因による沈下と思われるばあいも多かった。

§ 2. 橋台の震害

橋台のばあいにも土にうずまつている部分が比較的大きいもの、たとえばもりこぼした橋台では、被害が少ないようである。橋台が堤防内にうずまつている河川橋では、橋脚が大きな被害をうけているにもかかわらず、橋台の被害の少ないものが多い。

橋台の背後が盛土のばあいには、盛土が沈下し、袖部が被害をうけていても橋台に被害のない例が多く、むしろ袖部の崩壊により橋台に作用する土圧を低減できたと思われる。地震時の盛土の沈下がある程度さげられないことを考えれば、袖部がくずれて、橋台に悪影響をおよぼさないほうが好ましい。

橋台の背後が切土のばあいには、斜面にある橋脚のばあいと同様に、斜面の崩壊にともない、橋台が前進、傾斜する例が多く、橋台の被害も多い。

橋台の前進、前傾に対してけたはストラットの役をしてこれをさまたげている例も多い。