

参考文献：雑誌「橋梁」1号

有江・宮崎著「高架道路橋の耐震設計」

(2) 地震力の分配（橋軸直角方向，横方向）

（鋳鉄，鋳鉄支承）

これらの支承には横方向にずれ止めがあるのが普通なので，横方向地震力は 可動，固定の区別なく 全支承に等分配すると考えられる。

（ゴム支承）

横方向水平力をゴムだけでうけるときには 各支承のせん断剛性に応じて分配されることになる。また，けたの横方向の移動が別に設けた凸凹などにより一様にさまたげられる場合には 地震力は全支承に等分配するとみなせる。

(3) 支承の水平抵抗

地震時のシューの水平抵抗には摩擦を考えずに 凸凹のかみ合わせなどにより水平抵抗力をうけることにする。

たとえば，橋台の間にかかるコンクリートけたの場合で 地震時にけたのストラット作用を積極的に利用する時には 支承の設計にストラットによる反力を考える。この場合，けたのストラット作用は橋台が一定量以上変位してから働くようにすることもできる。

## 第5章 鋼 構 造 物

### 第20条 一 般

振動に感じやすく 固有振動数の低い鋼構造物の設計においては 震度法のみでなく 動的解析を行なうのがよい。

〔解説〕 現行の鋼鉄道橋設計示方書では 第14条により地震の影響は無載荷の状態またはKS一荷重の等分布荷重を載荷した場合について考慮する。

ただし，活荷重による衝撃は加算していない。

用いる震度は水平震度0.2，鉛直震度0.1を標準としているが，架橋地点の状況により増減してもよいことになっている。

応力計算には水平震度のみを考え それにともなう鉛直方向の力は考慮しなくてもよい。横構などの地震の影響を検算するとき 許容応力の割増率は0.75である。また，主荷重と地震力が同時

に影響をおよぼす部材の設計に際しても許容応力の割増率は0.75である。

他の従荷重と同時に起る確率は極めて低いと思われるので、従荷重と同時に考えないことにしている。

以上が現行示方書による部材応力に対する地震の取り扱い方法である。

許容応力の1.75倍はほぼ鋼材の降伏点に達するが、現行の示方書により設計された鋼げた自体が地震によって實際上致命的な損傷をうけたことはないから、少なくとも現在用いられている程度の規模の鋼構造物であれば現行示方書の震度および設計法を用いていれば安全であると思われる。むしろ震害例を見ると下部構造のみが被害をうけて上部構造は無傷であったり、下部構造が変状したために二次的に上部構造が被害をうけると云うのが実状であるようである。少なくとも上部が鋼構造物である場合、下部構造と地震に対する安全度が一致していないことは確からしく、精密計算により上部構造の安全率をもう少し減らし下部構造の安全率を増すのが妥当と思われる。

現在用いられている鉄道橋りょうでは70m程度までのスパンにはトラス それより長いとアーチ等が用いられているけれども60m程度の単純トラスで上下動の固有振動数は4.5 Cycle/sec 左右動の固有振動数は1.5 Cycle/sec 程度である。中央支間112mの第1只見川(バランスト・スパンデルアーチ)の上下動の固有振動数は3.0 Cycle/sec 程度であるから、もし固有振動数が1.5 Cycle/sec 付近より小さい時動的解析が必要であるとすれば目下普通に使われている規模の鋼鉄道橋では動的解析をするにはおよばないかもしれないが今後支間も大きくなり高張力鋼を用いることによって支間の割合にけた高や幅も小さくなって剛度が低くなるとすれば固有振動数も相当小さくなるのが予想されるので動的にも検算する必要が生じて来るであろう。しかし、大きい地震に対してはある程度部材の降伏も考慮し応力の再分配や減衰率の増加も考慮して合理的に設計していたずらに下部構造の安全度との差を生じないように心がけるべきであると思われる。

橋りょう以外に細長いトレスル等も動的解析が必要かもしれないが、垂直荷重をうけている状態では震度数が減ずることを考慮しなければならない。

次に安定に関する地震の影響について述べる。現行の鋼鉄道橋設計示方書では応力の検算の時と同様活荷重を載荷しないときとKS-荷重の等分布荷重を載荷したときとの両方について検算することになっている。水平に0.2gMに相当する力を構造物の重心に加えて転倒モーメントを生じそれに対し鉛直上方向の地震力の影響を考え0.9gMの力で抵抗モーメントが働くとして検算するがその時の安全率は1.5以上としている。

いままでの震害の実例では施工とも関係があるのでこの安定計算法で不足であると断ずることはできないが、アンカーボルトが切れたりけたが滑動したり落下したりした例はあるので構

造物本体の応力上の安全性に比べると問題があるようである。あるいは完成時には十分安全であったものが腐食等のために十分な安全を確保できなくなることもあり得る。また、ロッキング作用の周期は割合に低いのでアンカーボルトが不備な場合 それによって転倒する事も考えられる。

鋼構造物はコンクリート構造物に比べて同じ程度を出すのに重量が相当軽くなるので 上部構造自身も またそれを支える構造に対しても耐震的に有利であるばかりでなく 材料的に云っても鋼はのびがあり 靱性のある材料なので座屈などに気をつければ地震に対しても抵抗力が大きい。したがって、特に地震に気をつけなければならない条件では鋼を用いるのが適していると思われる。

## 第21条 構造物の重量および剛度

構造物の重量は小さく しかも剛度は高いのがよい。

〔解説〕 固有振動数が高くなって震度法が適当であるような範囲では地震力は構造物の重量にはほぼ比例するので、自重を小さくすることは 上部構造にとっても またそれを支える下部構造にとっても好ましい。上部構造が軽ければ また下部構造の規模も小さくなるので下部構造自体の地震力も小さくなる。

一般に構造物の剛度を高くすることは 振動数が高くなり 耐震的に都合がよいが そのために自重が増すとその効果が減るので注意しなければならない。

鋼げたの場合、開床式のもの道床式に比べて 相当死荷重が軽くなるので耐震的に有利になる。また、ボックス ガーダーはI形並列のものより はるかに大きい横方向 およびひねりの剛性をもっている。

## 第22条 構造形式の選定

なるべく連続構造とし 振動減垂の大きいものがよい。

〔解説〕 型式と云っても 千差万別で一概には耐震に適した型式を決めることはできない。

一般に地盤が悪く橋脚が不同沈下するようなところでは静定構造がよく 不静定構造は適さないと言われていたが、最近のように鋼ぐい工法、その他新工法により余り工費の増大をみずに沈下のおそれの少ない基礎が得られるので、なるべく連続構造とするのがよい。また、ある程度の不同沈下があっても 連続げたは耐震的に有利である。確かに不同沈下による変形で構造物に応力が生じ活荷重が載ったとき 許容応力をこえる可能性があるが、コンクリート構造の引張り側のひびわれのような問題はなく 降伏点をこえた部分には塑性ヒンジが形成され 応力の再配分も行なわれる

のでさらに高い荷重に耐えることができる。まれにおきる地震に対しては このように不同沈下や変形によって弾性域をこえる部分ができても最終耐力が大きく、また橋脚から落下するおそれの少ない連続構造を用いる事は大いに意味がある。等スパンの連続げたの場合 たとえ橋脚が1本倒れても 鋼鉄道橋は自重には耐える事ができるので 復旧に便利である。しかし、不同沈下をそのままにしてくり返し荷重を載せることは疲労破壊の原因になるので支點高を調整する必要があるが、たとえ単純げたでも不同沈下すればレール高低の関係で調整を必要とする。

ラーメンは橋りょうと橋脚が1体となった構造であるから、耐震的に有利であることはコンクリート ラーメン構造の場合と同様である。脚の移動のないようなよい基礎であることがもちろん好ましいが、たとえ地震によって脚の間が開いたとしても 相当耐力は大きい。脚間隔を保つ方法として地中ばりで脚の基礎を互いに連結する法があるが、これによりラーメンをより耐震的にすることができる。しかし、この場合地中ばりが その上の荷重によって曲げられることがないよう 引張り材のまわりに余裕を作って 直接上から荷重がかからないようにしたり、腐食から保護するよう考慮しなければならない。

普通 連続げたでは一支点で水平力をうけもち支間が200~300m以上というような長大なものとなると その橋脚や支点付近の規模は大きいものとなるが、ゲルバー形式にすれば 地震力を分散することができる。世界で最長の鉄道橋は イギリスのForth Bridge (カナダのQuebec Bridge)であるが、中央支間約520m (約550m)でゲルバートラスである。

アーチの中タイドアーチのようなものは外的には静定で単純トラスと余り変りがないが、上路形式のアーチ 特に両端固定のものは実例から見ても地震による被害が小さいようである。地震により支点が変位した場合も 最終的な耐力は大きいと思われるが、これを正常な位置に調整しようとする場合には連続げたの調整に比して困難であると思われる。

以上に述べたものは被害と云っても 下部構造の変位、破壊に関連のあるものが主であるが、鋼橋本体としては 前条に述べたように自重の小さいものがよく しかも不静定次数の高いものほど剛度も高まって 地震に対する終局的な耐力も高くなると思われるが、いままでのところ鋼鉄道橋の上部構造そのものが地震で破壊した例はほとんどないようである。

### 第23条 けたの落下防止

けたが橋脚から転落しないよう 適当な装置をほどこすのがよい。

〔解説〕 橋りょうの形式としてラーメンや連続げたを選ぶことは けたの落下防止に対し、非常に有力な手段であるが、他の条件から静定構造を橋脚で支える構造は広く用いられているので、こ

れについて適当な落下防止法を考えなければならない。

震害の代表的なものとしては 単純げたが連続してかかっている場合 けたが次々に押されて落ちることがある。このような害を防ぐ方法として次のようなものが考えられる。

- ① 橋りょうの支承から端迄の長さを大きくしておく。
- ② 橋脚のけた座を前方にのぼしておく。
- ③ 可動シューの方は温度変化によるけたの伸縮などに対し橋軸方向に移動できなければならないが、それ以上の動きは拘束するようにする。

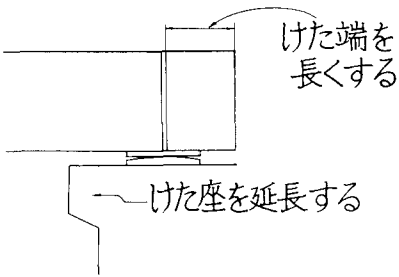


図 2-5-1

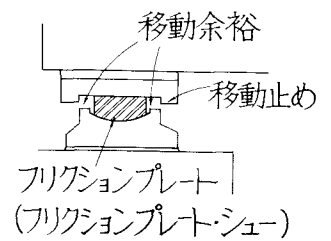
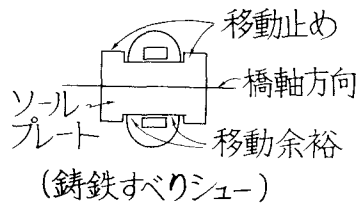


図 2-5-2

- ④ けたの間にパラペットをおく。

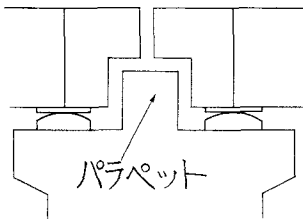


図 2-5-3

- ⑤ 橋軸直角方向に対して移動止めをおく。

I 梁や槽状げた等小さいものはアンカー ボルトにたよっているが、普通の鋼橋のためのシューには すべて横方向の移動止めがついているから、これで十分であると思われるが、特に必要なら パラペットを側方にも立てることが考えられる。

- ⑥ けたと橋台またはけたとけたをたがいにつなぐ。

つなぎ方についてはいろいろ考えられ また特許となっているものもあるが、いずれにしてもつなぐことによって支点のヒンジの作用や可動端の移動が損なわれることのないよう注意しなければならない。

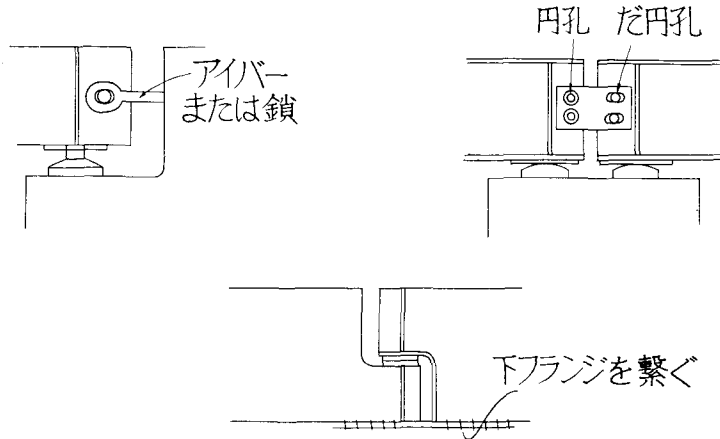


図 2-5-4 ゲルバーげた

⑦ アンカー ボルトに適度の強度を持たせる。

アンカー ボルトの強度をいかほどにすべきかは議論のあるところであるが、上部構造の重量が地震時の地動により生ずる慣性を伝える程度の強度は必要と思われる。余り強いと下部構造の変位が かって上部構造を破損することにもなる。

下部構造の大きい変位によってアンカー ボルトが切断する以外に 原因としては 地震力の伝達の方法として シュー底面とコンクリート底面との摩さつや底面のリップによる抵抗を過大視して アンカー ボルトに細いものを用いること 腐食により断面が減少したこと（アンカー ボルトのけた座面付近は特に腐食しやすい） アンカー ボルトとシューのボルト孔との間に隙間があるために 力が衝撃的に加わること また、隙間が各孔によって異なるので各個撃破されることなどが考えられる。場合によってアンカー ボルトが抜ける可能性もある。上端力の大きい場合や 水平力による曲げの大きい場合引抜き力がおこる。設計時にアンカー ボルト下端にアンカー プレートを入れることを指示されているのに それを入れ忘れたり ボルトのまわりのコンクリートが寒いために付着力が不足した場合に抜ける可能性がある。

上端力の大きいことが予想される場合、アンカー プレー

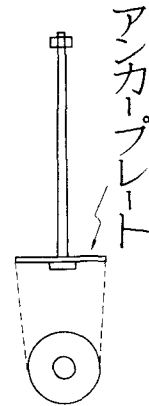


図 2-5-5

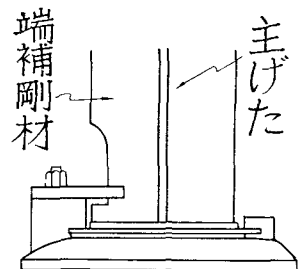


図 2-5-6

ムを埋め込み アンカー ボルトと連結するのがよいが、カウンター ウェイト等を利用してアンカーにかかる力そのものを軽減することを考慮するのが安全である。

橋脚のコンクリートがボルト部からかけ落ちた例があるが、アンカー ボルトのまわりはよく配筋しておかなければならない。

アンカー ボルトが最終的に抵抗するまでにはせん断力以外に相当曲げも加わるから アンカーボルトの材料はのびのよい靱性に富むものがよく腐食しないよう 防護することが必要である。

ソール プレートと主げたとの連結や 上シューと下シューの連結もアンカー ボルトに見合った強度を持たせないと意味がない。

プレート ガーダーで特に横転倒防止を確保する必要がある場合には 図2-5-6のように引っかかり部分をつけるのがよい。

また、横転に対する安定は左右の主げたの中心間をひろげれば改善され アンカー ボルトにかかる力も小さくなるが、そのようにするのが不経済な場合 けた端部のみを横方向に幅をひろげることがある。

水平抵抗にはアンカー ボルトのせん断力だけでなく シュー底面とコンクリート座面の摩擦つやシュー裏のリップによるコンクリートの支圧も考慮に入れてよい。

トラス等で重量が大きくて けたと上シューのとりつけボルトが水平抵抗に対して不足する場合には 上シューに突起部を設けて、けたの下部にあけた孔に合わせたりする。

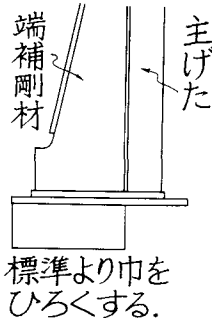


図 2 - 5 - 7

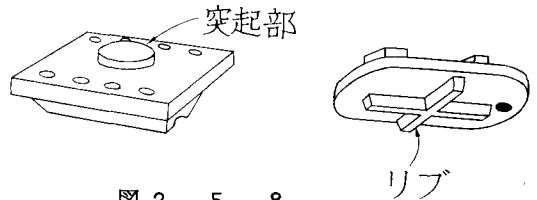


図 2 - 5 - 8

#### 第 24 条 地震水平力の集中と分散

地震による水平力を集中してとらせるのと 分散してとらせるのといずれが経済的であるかを考慮しなければならない。

〔解説〕 橋りょうが連続してかかる場合や 連続げたの場合、地震による水平力を特定の支点に集中すべきか 各支点に分散させるべきか条件によって得失があるので一概に定めることはできない。

常時荷重による鉛直力を支持するために 各橋脚にはある最小限度の強度が必要であるが、地震水平力をうけさせるときにも この橋脚の大部分を可動脚として遊ばせてしまうのは不経済であるから 可動脚と固定脚の区別をなくして、各橋脚になるべく水平力を分散させようと云う考えがある。

次にもし各橋脚に水平力を均等に分散させると 各橋脚ともケーソンのような高価な基礎が必要になるけれども、ある橋脚に水平力を集中してしまえばその橋脚のケーソンは大きくなっても その他の橋脚は常時の鉛直力に対するだけの簡単なくい基礎ですむので 全体の工事費は安くなる場合がある。特別な理由で 構造の一部が水平力に抵抗し易くなっている場合や 可動脚とすることによって各橋脚に水平力を分担させる場合の橋脚の基礎と種類が違って来るような場合には 基礎の種類が変わると工事費に相当に差が出るのでこの考え方が有利になる。

橋りょうの規模が大きくなると 地震力を特定の橋脚に集中させると 支点の構造や 橋脚基礎の構造が無理になり 地震力の分散方式をとらざるを得なくなる。吊橋につぐ長大橋がゲルバー構造やアーチ構造である理由の一つはそれである。

連続げたで地震水平力を各橋脚にとらせるために 支点到水平方向に可動のオイル ダンパーを用いたり、支点と 水平方向に張った P S 鋼線で橋りょうをつないだ構造も考えられているが、いずれも 構造減衰力を大きくして 振動を抑えるに役立つとともに 温度変化によるような徐々な変位には抵抗せず、地震力のような急激な変位には抵抗して固定支承のような作用をする特殊な装置である。

#### 第 2 5 条 上部構造および下部構造の強度と固定度

上部構造および下部構造の強度は均合のとれたものでなければならない。また、兩者をつなぐ固定度は適当に選ばなければならない。

〔解説〕 いままでの震害例では 上部構造のみが壊れて下部構造は健全であったと云う例はまずなく 反対に上部構造は健全であるが 下部構造が損傷した例は多い。また、上部構造が破壊した例でも それは下部構造の変状の結果落下したり 押されたためのものが多い。そこで上部構造と下部構造の耐震強度を比べると 下部構造の方が弱いのが実状であるが、構造物全体の均合から云えば むしろ下部構造の方が上部構造よりもいっくらか耐震の安全率は高くあるべきであろう。

次に上部構造と下部構造をつなぐ固定度はどの程度にすべきかはむづかしい問題である。これに関していくつかの意見がある。

① 復旧のことを考えると上部構造は落下しないようにすることが必要である。



- ② 下が交通路である場合 交通妨害となるから落下してはならない。
- ③ 上部構造を丈夫にして橋脚との連結を強くすれば 橋脚の変位を抑えるのに役立つ。
- ④ 上部構造で橋脚の変位を抑えることは 上部構造に相当の強度が必要となるし、かえって上部構造を破壊してしまうことにもなるから むしろ上呉構造と下部構造との固定度は余り強くない方がよい。
- ⑤ 構げたは落下しても必ずしも致命的な破壊をするものではないから、むしろ固定度は弱くして、けたは落ちて大きい質量で橋脚の上部をゆらさない方がよい。上部構造の復旧の方が下部構造の復旧よりも容易であるから 上部構造を犠牲にしても下部構造の方を保護すべきである。等であるが実例から見ると けたが落下していない場合の方が下部構造の損傷も少ないようであるし、いろいろの理由で落下しないように配慮すべきであると思われる。しかし、あまり 固定度が強いと脚に大きい地震力をおよぼし また橋脚の変位が上部構造を損傷することになる。

最もよいのは アンカー ボルトの強度は 上部構造の重量による慣性力を阻止する程度にとどめそれ以上は可動支承のアンカー ボルトにも期待し また、第23条に述べた種々のけた落下防止装置を採用することである。できればその落下防止装置も2種類以上ついていれば安全度は非常に増すことになる。

#### 第26条 安定の検算

耐震構造とする場合 強度上の検算のみでなく 安定の検算も十分に行なわなければならない。

〔解説〕 転倒に関しては一般のところでは既に述べたので ここではゲルパーげたや連続げたの場合について述べる。

連続げたやゲルパーげたでは支間の配分や荷重の配分によって端支承に揚力を生ずるおそれがある。連続げたの場合にはたとえ揚力がおきてアンカー ボルトが切断されたとしても落下にはいたらないけれども ゲルパーげたの場合には不安定となって落下と云う事態がおこり得る。鋼鉄道橋は比較的自重が小さく活荷重が大きいので 死荷重に対しては安定であっても活荷重の位置や大きさによって不安定となる可能性が大きい。

#### 第29条 脱線防護

けたの変状に対し できるだけ脱線の防護処置を計るのがよい。

〔解説〕 列車が橋りょうに進入する直前の地震でけたが変状した場合、レールの通りいかによって列車が脱線する場合としない場合がある。もちろん、地震によって 上部構造も下部構造も変状しないように丈夫になっていれば問題はないが、経済性とも関連があるので 絶対変状しない構造物はむずかしい。そこである程度変状しても列車の走行に耐えるようにしておく事は大切である。たとえば、レールとけたとの締結をより強固にすること、護輪軌条の強化、けたの移動によって付近のレールの通りが急変しないよう 緩衝けたを入れたり 橋台付近のレールがけたとともにある程度移動するようにすることなどが必要である。

特に橋りょう近辺のレール継目ははずれないよう注意する必要がある。

## 第 6 章 カルバート

### 第 28 条 カルバートの構造

カルバートは その用途および重要度に応じて 形式をえらび 断面を定めなければならない。

〔解説〕 カルバートは 交通量あるいは流水量、建設位置の地形、地質、等を十分調査して その形式および断面寸法を決定しなければならない。

一般に使用されているカルバートとしては ラーメン構造のもの、アーチ形のもの、橋りょう形のもの、パイプ状のもの、等がある。(図 2-6-1)

ラーメン構造のものは スパンがあまり大きくなければ地盤が不良の個所でも 一般に 耐震的に有利である。

無筋でつくられたアーチ形のカルバートは 震害をうけているものが多く、重要な個所では 鉄筋コンクリート構造のものを使用するのがよい。

単純版形の場合は スパンが小さい場合に使用するのがよいが、版の支承部は アバットにヒンジで結合するのがよい。

パイプ状のものは 特に、路盤転圧時の偏土圧等をさけるように施工しなければならない。

軸方向に可撓性のあるカルバートは 継手および接合部の構造を強固にすれば 耐震的なものとなると考えられるが、常時の土圧によって大きいたのみなどを生ずるおそれがあるので 特に 地盤の調査を入念に行ない 適当な処置をとらなければならない。