

(特別講演)

橋梁の設計に関する二、三の問題

東京大学工学部教授 福田 武雄

橋梁の設計方針について

最近の諸外国の橋梁設計方針について、特に気が付く事項は、およそ次のようである。

(1). 橋梁を構成する各部分及び材料をその特徴に応じてできるだけ有効に利用すること。

この現れがPSCコンクリートであり、鋼コンクリート合成桁などである。

(2). 橋梁を構成する各部分が一体となつて抵抗力荷重(鉛直荷重のみならず水平荷重に対して)に抵抗するようにすること。

(3). 以上の2項と関連し、またその必然的結果とぞ考えられるが、材料の節約、したがつて橋梁の自重の軽減を図ること。

(4). 以上のためには、単なる便宜主義的の計算では駄目であつて、綿密な合理的計算が必要になり、複雑な計算の労をいとわれないこと。

この外に、溶接の活用、高張力鋼の使用などが挙げられる。

以上のようにして橋梁の各部分がそれぞれ有効に働くように合理的に設計するということは、必然的に、無駄な部分を省くことになる。

例えば橋床が横荷重に十分抵抗し得るならば、載荷面の水平構は不必要になる。トラス等において水平構と橋門構又は端対傾構とによつて横荷重を十分に支へ得るならば、中間対傾構は不必要になる。

ドイツその他の欧州各国では、中間の対傾構を付けないのが最近の共通の傾向である。

力学的に不必要な部分は思い切つて省略するのがよい。但しこのために取動が著しく大となる心配がある場合には、別に考慮しなければならない。

不必要な部分を省く結果、橋梁はスマートになつてくる。最近の外国の橋梁が垢抜けしているのは、型式の決定や外観の問題などについて造型美の専門家の意見を教することにもよるが、一つには、無駄な部分を省いて橋梁の各部及び全体を合理的に設計する結果ではないかと考える。

合理的設計には合理的計算が当然必要になる。便宜簡單主義の計算では役に立たない。

また各部の詳細なども種々比較設計しなければ立派なものはできない。

これには相当の時日が必要であつて、我國の現状のように、各府県などから橋梁会社に注文を發して、ひどい場合には10日間ぐらひで、長くとも1ヶ月以内に設計図と計算書を出させるという風のやり方では、上記のような合理的計算と設計をすることは勿論のこと、單なる比較設計すら不可能である。一寸大きな橋で立派な設計をするには、少くとも2ヶ月ぐらひは必要であつて、まして、2週間ぐらひで詳細設計をしるなんて言うことは、技術的良心のないものの言うことである。

橋梁の形式としては、フレートガーダの上路橋が最も好んで使用される。およそ道路橋は、可能なる限り上路橋にすべきものとする。桁下空間の關係からどうしても上路橋が不可能な場合には、ランガー桁橋などがよいと考える。

わが国では最近ローゼ桁橋が流行しているようであるが、ローゼ桁橋はどうしてもランガー桁橋やトラスに比べて不経済になる。

ランガー桁橋でも、上弦材を直線のつながりにせず、一つの曲線状にすれば優美なものになると思う。

最近ほとんど見受けないが、相当大きなスパンでは、ソリッドリスのタイドアーチを設計されてよいのではないかと考える。

有名なライン河の長支間のフレートガーダー上路橋のみならず、最近は大スパンのフレートガーダーが多くなった。

これら大支間のものは別として、大ていは連続桁でも等高のものが多く使われ、目桁の補剛材は省略するなど、さきめてすっきりした形のものになつて来ている。

連続トラスでも、副柱材のない等高ワレントラスがドイツには多い。

鋼橋の材料としては、わが国ではS541の軟鋼が普通であるが、諸外國ではS52級の高張力鋼が広く活用されている。

近く竣工する神奈川県相模大橋は本邦最初の高張力鋼を使用した橋として注目される。

主桁のタワミについて

橋梁の主桁のタワミに関しては、我國で従来採用されて来た設計示方書では、鉄道橋、道路橋ともに、荷重としては死荷重及び活荷重(動車を含まず)を考慮し、最大タワミがそれぞれ次表の値を超えないように設計するよう定められていた。

表-1 在来の我國示方書の最大のタワミ

区 分	道 路 橋	鉄 道 橋
フリートガーダー	$l/600$	$l/800$
ト ラ ス	$l/800$	$l/1000$

この規定は今まで無批判に守られてきたのであるが、この数字にどんな理論的または実験的根拠があるのかは、講者は浅学にしてまだこれを知らない。たとえば道路橋のフリートガーダーで、死活重及び活荷重によるタワミがスパンの600分の1以上になつたら、橋は果して危険になるのであろうか。後述のように、決してそうではないと講者は信ずる。

活荷重によるタワミを計算することは、それ自身として、架設後の主桁の位置を予め知つておくために、また反りをつけるために、必要なことではある。

しかし、橋の曲げ、剛さ、または振動性を判定する規準としてのタワミの計算に死荷重をも考慮することは、意味がないものとする。

こゝろみに外國の鋼道路橋設計示方書についてタワミに関する規定の概要を記すと次のようになつてゐる。

米国 A.A.S.H.O. 示方書 (1949)

主桁(単純梁、連続桁を含む)のタワミは衝重を含む活荷重に対して計算し、その最大値はスパンの $1/800$ を超えてはならない。

片持部のタワミは片持部の長さの $1/300$ を超えてはならない。

荷重の横方向の分配が期待できるような十分な強度の対傾構、またはタイエフレームを有する橋では、すべての主桁が同一のタワミを示すものとして計算してよい。

タワミの計算には、歩道上の活荷重は無視してよい。

タワミの計算には、すべて主桁の縦断面を使用する。

ドイツ DIN 1073 (1941)

タワミの計算には、すべて主桁の縦断面を使用し、衝重を含まない活荷重のみについて計算する。

主桁の計算上のタワミは、一般にスパンの $1/500$ を超えてはならない。ゲルバー桁の吊桁及び片持部のタワミは、それぞれ吊桁のスパン及び片持部の長さの $1/500$ 以下でなければならない。

大スパンの橋梁においては、上記の制限による必要はなく、その都度適当に定めてよい。

全長にわたつて断面が一様な単純桁の最大タワミは次式で計算することが

である。

$$f_{max} = \frac{5 M_{max} l^2}{48 EI}$$

断面が一様でない場合には式による。

$$f_{max} = \frac{5.5 M_{max} l^2}{48 EI}$$

但し、この場合の I は、スパンの中点における桁の縦断面についての I とする。

以上のように米国、ドイツともに活荷重のみについて計算するよう規定している。

また英国の示方書 (Code of Practice for Simply Supported Steel Bridges, 1949) では、主桁のタワミに關しては何等の制限も設けられていない。

これらのことを考えると、今回の鋼道路橋設計示方書の改訂に當り、タワミの計算には衝重を含まない活荷重のみを採ることに改められたのは一大進歩と言わねばならない。

しかし、最大タワミの値として、委員会の上、諸君はドイツの規定にならぬと $l/500$ を主張したのであるが、まあまあと言つて、従前通りトラスでは $l/800$ 、プレートガーダーでは $l/600$ と定められた。

タワミについて考慮すべきことは、設計荷重による計算上のタワミと、実際の活荷重によるタワミの実測値との間に、実に著しい差があることである。この場合、問題が二つある。

その一つは、ある活荷重を載せたときのタワミの実測値は計算値よりも可成り小であることである。

これは、計算では主桁のみを有効と考えるのに反し、実際には床版、床組、横牆等が主桁に協力するからである。

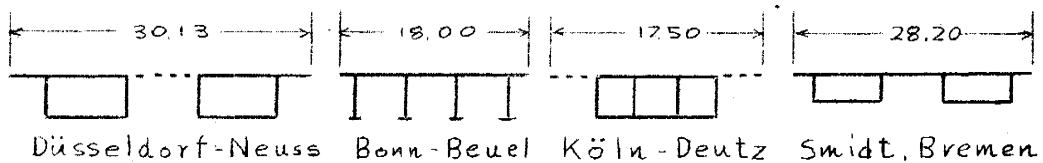
第二の点は、さらに根本的な問題であつて、タワミの計算には示方書に示された活荷重を最も不利な状態に載荷するのに対し、このような載荷状態は實際にはほとんど発生せず、實際に橋梁上を通過する活荷重によるタワミの実測値が、前記の計算上の最大タワミにくらべて著しく小になることである。

ドイツでは、表 - 2 及び図 - 1 に示すような長径向のプレートガーダー連続橋が架設されたが、これらの橋が実現したことについては、タワミに關して通常の $l/500$ 以上の大きなタワミを許容したことが与つて力がある。

表 2

橋 名	スパン割(m)	平均 矢高 (m)	橋 巾 (m)	l/k	
				中 央	支 点
Düsseldorf-Neuss	103-206-103	3.30	30.13	61.4	26.3
Bonn-Beuel	99-196-99	3.00	18.00	65.0	24.0
Köln-Deutz	132-184.5-132	3.10	17.50	57.4	24.0
Smidt, Bremen	15-112-306-632	2.55	28.20	41.7	41.7

図 1



たとえば Düsseldorf-Neuss 橋の計算上の最大タワミは、中央径間で、 $l/230$ であり、Köln-Deutz 橋では、中央径間で $l/266$ 、側径間で、 $l/279$ である。

このようなタワミは我が国では一寸許されそうもないが、諸君が実際に経験した処では、これらの大きな計算上のタワミに比べ、電車やトラック等による振動はほとんど感じなかった位である。

特に Köln-Deutz 橋では長期間にわたり実際の通過活荷重による最大タワミの実測が行われた。

その結果、観測された最大タワミは中央径間で 66 mm 、すなわち $l/2790$ 、側径間では 30 mm 、即ち $l/4400$ であつて、計算上のものにくらべて桁がいに小さい。

このようなことは、その他の橋についても同様であると思われる。

もしそうだとすれば、タワミの計算やタワミの制限は全く無意味なものとなる。この意味において、英國の示方書でタワミに何等の制限を設けていないのは当を得たものと考えられる。

以上のことから、米国においての示方書のタワミの制限に関しこれを改訂すべしという意見が各方面に高まり、米国土木学会の構造部会にタワミに関する委員会が設けられ、目下種々検討中である。

ことに高張力鋼を使用する場合に $l/600$ の制限では、折角の高張力鋼の高い許容応力が有効に利用できず、応力の面よりもタワミの面で設計が左右さ

れることになる。

高張力鋼を使用し、その高い強度を活用するためには、少くとも $1/500$ 位のタワミまで許す必要がある。

このような場合には、示方書の最後にある「特別の事由がある場合にはこの示方書の規定によらなくてもよい」という条項を活用すればよいと思う。

この意味において橋梁行政の当業者諸氏を、いたずらに示方書の規定に盲目的に従うことなく、易々には応じて適切な判断をされることを祈る次第である。

およそ、橋の目的は、自動車その他のものを安全に通すことであつて、タワミを防止することではないからである。

・下部構造について

最近の大地震であつた福井地震における橋の被害状況を調査してみると、橋の被害はほとんどすべて橋台または橋脚の破壊に基因する。

また関東大地震による国鉄の橋の被害数は表 - 3 の如くである。

表 - 3 関東大地震における国鉄の橋の被害数

区 分	橋 桁	橋 台	橋 脚
発 生 数	3 1 1 9	2 0 5 6	4 4 5
被害数	1 8	3 3 7	2 7 9

このような被害はすべて下部構造の劣化によるものであつて、表 - 1 中の橋桁 18 も、橋桁それ自身の構造的不備から生じたものでなく、下部構造の破壊による転落によるものである。

要するに、地震において上部構造の破壊が橋の破壊の直接の原因となつたものは一つもないと言つても過言ではない。

勿論、橋の設計に当つては、水平震度を 0.2、鉛直震度を 0.1 ととつて設計するのが標準となつていたから、これ以上の震度に対しては橋が被害を受けるのが当然であるとも言えるが、しかし設計許容応力には 2 程度の安全率が充ち込んであるので、そう容易に破壊する筈はない。

実際、今までの大地震でも設計と施工に十分の注意が払われたものは、ほとんど被害なくそのままに残つている。

特に上部構造については、鉄道橋も道路橋も細部に至るまで行きとどいた基準示方書が定められているが、橋台や橋脚の下部構造については、現在までは何等の標準示方書がなく、気休め程度の簡単な計算や従来からの経験または所謂技術者のカンによつて設計せられて来た。

また工事予算が不足の場合には、たとえば橋桁の断面を小にしたりすれば危

険になることは計算上直ちに明らかになるので、上部構造には手をつけず、みすみす危険になるとは知り乍ら、基礎の根入りを浅くしたり、必要な鉄筋を省略したりして、下部構造の方で工費を減じようとするのが多かった。

このことは実は本末をまちがえたことであつて、橋桁などはたとえ落ちても、下部構造が無事ならば橋の復旧は比較的容易なのが普通であるが、橋台や橋脚が倒れたりした場合には、上部構造もそれにともなつて破壊すると共に、復旧に多大の日時と工費とを要することになる。

この意味において、橋の工事に当つては、今までの考え方を改めて、下部構造に最大の重点をおくことが望まれる。

地震の場合、単純梁形式のものにくらべて、連続桁、ゲルバー桁、アーチまたはラーメン形式の橋の方が比較的被害が少い。

このことは、これら単純梁以外の形式の橋を造るときには、設計にも工争にも充分な関心と注意が払われたであろうことと、また根本的には、地震に対しては単純梁形式より力学的にすぐれていることによるのではないかと思われる。連続橋は、従来は地震に対して面白くないとされてきた。

即ち下部構造に不平等況下が生ずると、橋桁に異常な応力が生じて危険になるからである。

このことは、前の四国地方の地震の際に吉野川に架かるスパン連続トラスの鉄道橋に発生した。

しかし地震による下部構造の歪みは鉛直方向の況下よりむしろ傾斜または側方の横方向の変形の方が生じやすく、これに対しては、連続橋の場合には、橋台と橋脚がその上端において連続した橋桁によつて連結される結果、橋台や橋脚がそれぞれ独自に振動または揺動し得ず、橋全体として振動することになり、地震に対して好都合になるのではないかと考える。

普通の桁橋の橋台は主桁には全く接しないのであるが、主桁と橋台とを連結して図-2の如き円形ラーメンとすれば、主桁の桁高を小にし得ると共に、橋台が単独に揺動することではなく、地震に対して極めて好都合になる。

ラーメンにはその他に色々な利点があり、今後はこのラーメン型式の橋梁の架設を望みたい。

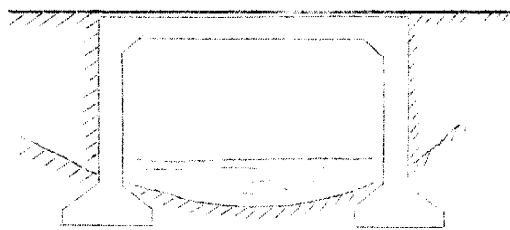


図 - 2

また市街の古い建物は、図-3のよき型式を採用する。
これは大正12年の関東大地震後、東京の復興のために設けられた復興局高
野謙の計画であつて、「復興型」と呼ばれたものである。

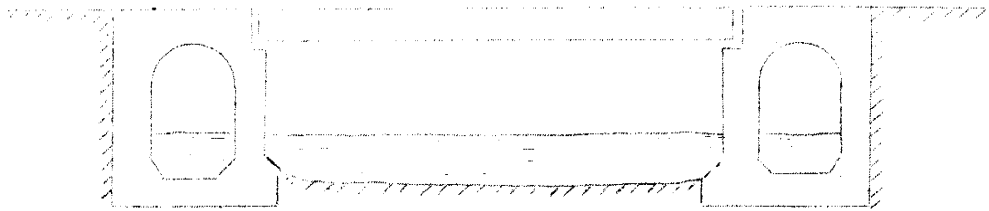


図 - 3

この型式が普通のものにくらべて耐震上極めて良好であることは言うまでも
ない。

この形式の橋は復興局の手によつて東京都内には多数架設され、わが國の如
き地震国においては、これが橋梁の標準型式の一つとして一般的に広く採用
されるものと期待していたのであるが、その後いつの固に欠陥られて、地
震がある度に倒壊が報ぜられる月並の構造に逆戻りしたことは甚だ遺憾であ
る。

