

(2) 道路橋における安全率の考え方について

建設省道路局国道課 川崎 偉志 夫

「経済性」を失わない範囲で、なるべく丈夫なものを造ることは、構造物を設計する際に常に考えなければならないことである。道路橋もちろんこのような考え方が基本となるべきであつて、これ以外の要素が大きな比重を占めるような case は、特殊な場合を除けばまず無いといつてよいであろう。もつとも「経済的に」という要素と「丈夫なものを」という要素とは必ずしも常に一致するとは限らない。むしろ多くの場合に相反する要素のように考えられる。こうした二つの要素が、その橋のおかれている客観的な条件（交通量や重車輛通行の可能性）のもとで適当に balance を保つた場合に、はじめて良い橋、良い設計といふことができる。

さて「丈夫なもの」という要素を「経済的に」という要素との関連において考えようとする場合に、話は簡単でなくなる。それは示方書で規定している道路橋の設計荷重（主として活荷重）が、他の構造物における設計荷重ほど絶対的なものでないからである。たとえば鉄道橋あるいは建物の床などの設計を行う場合の活荷重または群集荷重は、実在しうる活荷重のほぼ最大値を採用しており、かりに設計荷重以上の荷重が載荷するような事態が起つたとしても、そのようなことはきわめて rare case である上に、設計活荷重強度を超過する割合は比較的僅少であつて、材料の許容応力度において考慮している安全率によつて十分 cover できる程度である。道路橋においても、設計活荷重は実在しうるほぼ最大値を採用しており、それ以上の活荷重が載荷することはきわめて rare case と考えられるのであるが、超過する割合は僅少でない。設計荷重の数倍にも相当するような重車輛が通ることもある。たとえば新しい道路橋の示方書で規定している一等橋の自動車荷重 20 t に対して 60 t、70 t というような重車輛が、少数ではあるが自衛隊等で用いられている。これは許容応力度の安全率のほかに、衝撃あるいは計算法における仮定などによつて辛うじて cover しているものと考えられるが、いずれにしても道路橋においては、over load に対してどの程度安全であるかということが重要な要素となつてくる。安全率という言葉の意味は、一般に材料の強度と許容応力度との比という意味に解釈されることが多いが、道路橋のようにきわめて rare case ではあつてもきわめて大きい over load を受けることがある構造物では、活荷重に対する構造物としての安全率、すなわちどの程度の over load に対して橋が安全であるかというようなことが、非常に重要な意味をもつてくる。こうした点について、従来比較的関心が薄いように見受けられるので、基本的な考え方について次の二点を提示し、御批判を仰ぎたい。

- (I) 活荷重に対する構造物としての安全率は、基本的には構造物を形成している各部材の、活荷重応力と死荷重応力との比から考えられるべきであろう。いま

$R =$ 活荷重応力（衝撃を含む）と死荷重応力との比

$$= \frac{\sigma_z}{\sigma_d}$$

$\sigma_z =$ 活荷重（衝撃を含む）による応力度

$\sigma_d =$ 死荷重による応力度

α = 超過活荷重強度と設計活荷重強度との比

β = 活荷重強度が2倍になったとき、各部材における応力度の増加率

とすると、一般に

$$\beta = \frac{\sigma_d + \alpha \sigma_e}{\sigma_d + \sigma_e} = \frac{1 + \alpha \frac{\sigma_e}{\sigma_d}}{1 + \frac{\sigma_e}{\sigma_d}} = \frac{1 + \alpha R}{1 + R} \quad (1)$$

(1)式の関係を図示すれば図-1のとおりであつて、図-1はたとえば活荷重強度が2倍になつても、部材応力度は必ずしも2倍にならないことを示している。この程度はRの大小によつて異なり、Rが大きいほど、すなわち活荷重応力の影響が支配的であればあるほど、同一の α に対して β が大きくなる。極端な場合、 $R = \infty$ (死荷重がゼロのとき)であれば $\beta = \alpha$ であるが、逆に $R = 0$ (死荷重が無限に大きいとき)であれば $\beta = 1$ 、すなわち応力度の増加率は活荷重強度に無関係である。

(1)式の関係は次のとおり書きかえることができる。

$$\alpha = \frac{\beta(1+R)-1}{R} \quad (2)$$

一般に β の値は、部材を構成している材料の性質によつて、許容しうる限界がある。たとえば普通構造用鋼材 S S 41 の降伏点強度 $2,300 \text{ kg/cm}^2$ を許容しうる限界とし、許容応力度を $1,300 \text{ kg/cm}^2$ にとつた場合に

$$\beta \leq \frac{2,300}{1,300} = 1.77$$

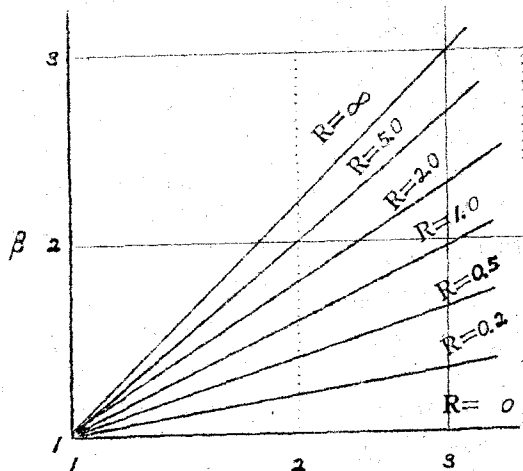
でなければならない。そこでたとえば、 $\beta = 1.77$ とすると、(2)式で計算される α の値は、鋼材の降伏点強度について考えた、活荷重に対する部材としての安全率と見なすことができる。

ここでRは支間比の関数であり、新示方書によつて設計された道路橋について、Rと α の関係を数個の実例から表-1のように仮定して、支間比と安全率 α との関係を求めてみると図-2のとおりである。

表-1の関係は、新示方書による設計実例が少ないためにかなり誤差があることはやむをえない。しかし一等橋と二等橋との関係や、鉄筋コンクリート橋のほうが支間比の影響が severe にきいてくる点など、order としてはそう大きい誤りはないように思う。また鉄筋コンクリート橋について、鋼橋と同じように $\beta = 1.77$ を基準にして安全率を求めていることは大いに疑問である。しかしコンクリートの曲げ圧縮許容応力度を、28日強度 σ_{28}

図-1

α と β との関係



に対して $\sigma_{28} / 3$

として設計する場合

に、 $\beta=3.0$ として

鋼橋と比較すること

はなおさら矛盾があ

る。また引張鉄筋量

が極端に多いケタで

は、中立軸の位置の

関係で、鉄筋が降伏

する前に圧縮側のコ

ンクリートが破かい

強度に達することもあるが、

通常のケタでは、鉄筋のほ

うが先に降伏点強度に達す

る。結局鉄筋の降伏点強度

を一応の基準とした場合に、

予想される不都合の程度と

いうようなことから考えて、

鋼橋と鉄筋コンクリート橋

とを同一の $\beta=1.77$ を基

準にして考えて、order

的に大きい誤りはないよう

に考えられる。

さて図-2の結果からみ

ると、一等橋よりも二等橋

のほうが、小支間の部材より

も大支間の部材のほうが

また同一の支間に対しては

鋼橋よりも鉄筋コンクリ

ート橋のほうが、いずれも活

荷重に対する安全率が大き

い。また鋼橋と鉄筋コンク

リート橋とで、同一の安全率に対する支間を比較すると、鉄筋コンクリート橋の支間10～12mは鋼橋の支間20～25mに相当し、鉄筋コンクリート橋の支間20m前後に相当する鋼橋の支間は、50～60mである。鉄筋コンクリート橋における10～12mの支間あるいわ鋼橋における20～25mの支間が、単ゲタ橋の代表的な支間であり、また鉄筋コンクリート橋における20m前後の支間あるいわ鋼橋における50～60mの支間が、比較的長支間の場合の代表的な数値と見なすものとすれば、これら二つの形式の橋において、ほぼ同じような活荷重に対する安全率が得られていることは興味深い。もちろんこのことは、それぞれの橋における施工条件によつて異なるものであり、計算上の仮定のあ

表 - 1

$R = \sigma_e / \sigma_d$ の値 (仮 定)

	一 等 橋	二 等 橋
鋼 橋	$R = \frac{30}{3 + 0.8 l}$	$R = \frac{24}{3 + 0.8 l}$
鉄筋コンクリート橋	$R = \frac{24}{1.8 l - 3}$	$R = \frac{19}{1.8 l - 3}$

活荷重に対する安全率
(降伏点強度に対して)

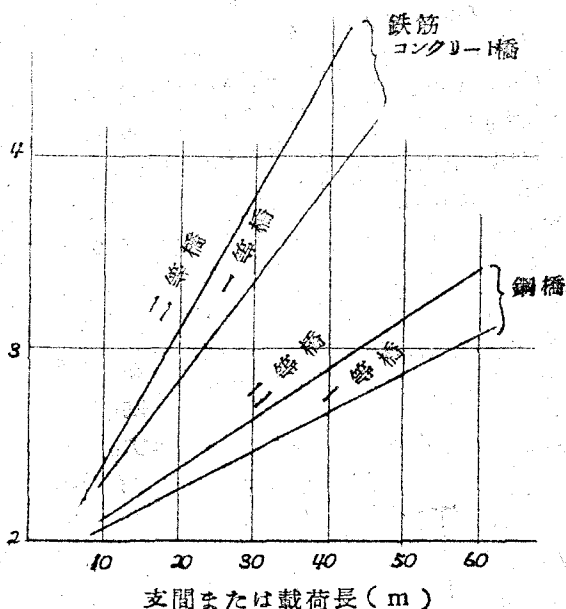


図-2 支間と部材の活荷重に対する安全率との関係(例)

りて橋とで、同一の安全率に対する支間を比較すると、鉄筋コンクリート橋の支間10～12mは鋼橋の支間20～25mに相当し、鉄筋コンクリート橋の支間20m前後に相当する鋼橋の支間は、50～60mである。鉄筋コンクリート橋における10～12mの支間あるいわ鋼橋における20～25mの支間が、単ゲタ橋の代表的な支間であり、また鉄筋コンクリート橋における20m前後の支間あるいわ鋼橋における50～60mの支間が、比較的長支間の場合の代表的な数値と見なすものとすれば、これら二つの形式の橋において、ほぼ同じような活荷重に対する安全率が得られていることは興味深い。もちろんこのことは、それぞれの橋における施工条件によつて異なるものであり、計算上の仮定のあ

いまいさなどによつてい
 がいには言えないと思うの
 であるが、いずれにしても
 結論的には、支間あるいわ
 載荷長の大きい部材であれ
 ばあるほど、いいかえれば
 死荷重応力の影響が大きい
 部材であればあるほど、道
 路橋としては安全率の高い、
 丈夫な構造だという一面が

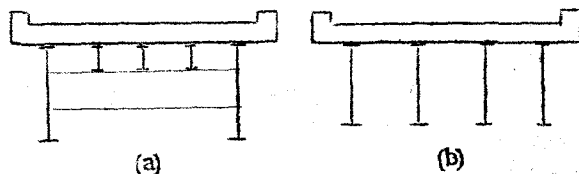


図 - 3

あることを指摘したい。この意味から通常のプレートガーダーにおいて、図-3(a)に示すように縦ゲタや床ゲタを用いる形式よりも、図-3(b)のように主ゲタを並列した形式のほうが好ましい形式といふことができる。また最近注目されつつある鋼床版は、死荷重、したがつて全鋼重を軽減するには非常に有利な方法であるが、構造物としての安全度という立場から考えると、大いに疑問があるように思うのである。大正末期に床だけが木床で、他はすべて永久構造として架設された道路橋のうち、相当数が今日すでに架換の時期に来ている点などを思い合わせると、死荷重を軽減することは逆に橋の安全度を低めている結果にもなっている点があることを指摘したい。

このような考え方をおし進めてゆけば、死荷重応力の影響が比較的小さい小支間の部材における許容応力度の値は、死荷重応力の影響が大きい大支間の部材に対する値よりも小さくするのが正しいように思われる。また橋台や橋脚などで、バットレスまたはラーメン式の比較的 slender な構造よりも、重力式の massive な構造のほうが、地盤の支持力を無視して考えれば、實際上丈夫な構造物だということになるのではないだろうか。道路橋のように載荷状態がまちまちで、きわめて範囲の広い構造物では、よほど大きい活荷重いわば absolute maximum value を選ばないかぎり、上記のような活荷重に対する安全率を無視するわけにはゆかないと思うのである。

- (Ⅱ) 道路橋の安全度を考えるに当り、第二の問題として次のような点に触れてみたい。すなわち道路橋の設計荷重は、設計上の基準を与えるために便宜上設けられた値にすぎないのであつて、設計荷重そのものが存在するかのような錯覚を起してはならない。つまり設計

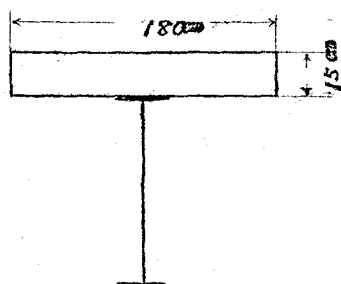


図 - 4

荷重そのものを絶対視してはならない。したがつて道路橋の安全度は、任意の荷重状態において考えるのが正しい。この一例として最近盛に用いられている合成ゲタについて触れてみたい。

簡単のため、図-4および表-2に示すようなゲタの断面を想定し、これらのゲタの抵抗モーメントを計算すると表-2のとおりである。ところで一般に床版とゲタの上部フランジとの接触面にはスラブ止めが設けられており、また床版と鋼材との間に働く摩擦力によつて、実際上ゲタは相当程度合成ゲタとして働いているものと考えられる。この程度を正

表 - 2

支 間 $l(m)$	10	15	20	25	30
f_y p/s.	2-20×220	2-22×300	2-22×360	2-25×380	2-25×430
web p/.	8 × 810	9 × 1,000	9 × 1,250	10 × 1,550	12 × 1,800
非合成ゲタとしての抵抗モーメント (t-m)	52.7	96.6	152.2	222.4	308.0
合成ゲタとしての抵抗モーメント (t-m)	76.0	131.3	193.0	257.5	322.5

確に見つけることは困難であるが、数個の実験例によると、設計荷重程度までの荷重に対しては、ほとんど完全に合成ゲタとして作用していることが確かめられている。そこで図-4に示すケタを完全合成ゲタと考えた場合の抵抗モーメントを、コンクリートの圧縮許容応力度を 55 Kg/cm^2 、鋼材の曲げ引張許容応力度を $1,300 \text{ Kg/cm}^2$ として計算してみると表-2のとおりである。

これによつて、全荷重および活荷重に対する安全率について、非合成ゲタと合成ゲタとを比較してみると図-5のとおりである。図-5によると、支間が 20 m 程度以上大きくなると、両者の比がだんだん1に近くなる。逆にいえば、合成ゲタの適用限界が、支間 3.5 m ないし 4.0 m 程度以内にあることを類推することができる。

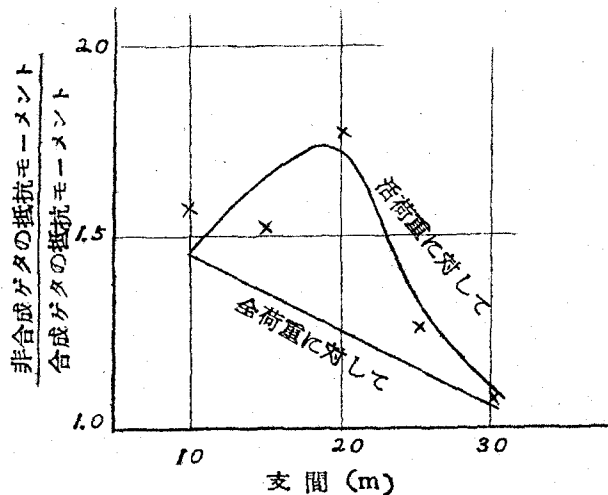


図-5 (計算例)

なお数字はいずれも単なる計算例であり、支間が小さくなるとケタのせん断力によつて床版とフランジとの間に働くズレ力の影響が大きくなり、上記のように合成ゲタとして働いているという仮定が成立しにくくなる。逆にいえば、支間が 10 m 以下程度のケタを、合成ゲタとして設計することはあまり意味がないという、通常いわれている結論と一致する。支間が 10 m 程度以上であれば、たとえケタ端で上記の仮定が成立しなくても、一般にケタ端は曲げモーメントに対して十分な余裕があり、断面に余裕のないケタ中央付近ではせん断力が小さいから、上記合成ゲタとして作用しているという仮定が成立しやすくなるものと想像される。

次に活荷重強度がだんだん増大してくると、床版と上部フランジの接触面での力の平衡が破れ、図-4に示すゲタは、単に床版と鋼ゲタとの重ねバリとしての働きしかなくなる。したがってこの状態では、非合成ゲタと合成ゲタとの安全率の比はほとんど1に近くなるはずである。この転移の時期は支間の大小によつて異なり、支間の大きいほうが合成範囲が広いものと

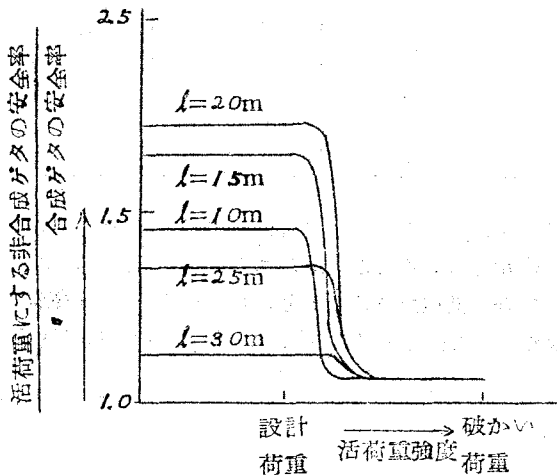


図-6 活荷重強度と安全率の比との関係

考えれば、荷重の強度と安全率の比との関係を概略図-6のように図示することができる。図-6からわかるとおり、破かいに対する安全率は合成ゲタと非合成ゲタとはほとんど差がない。したがって、いわゆる limit design の考え方からすれば、合成ゲタの安全度は非合成ゲタに比べて劣るものではない。しかし設計荷重程度の荷重状態において、非合成ゲタが実際上合成ゲタとして働いているという数個の実験結果が、もしも一般論として正しいものとするれば、材料の疲労というようなことから考えても、合成ゲタ橋は、そうでない通常のゲタ橋に比べて若干強度が劣るのではないかという

一部の意見は正しいように思うのである。ただし筆者は必ずしも合成ゲタ橋を否定しようとするものではない。筆者は道路橋における一等橋・二等橋の区分が一種の必要悪として定められた規定であり、同じ一等橋でも架設箇所の客観条件によつて、必要とする構造物としての安全度には差があるはずであるから、それぞれの場合によつて設計態度が異なるべきだと考えるものである。従来の慣用計算による非合成ゲタ橋が、慢然と余裕をみた無駄の多い構造であり、合成ゲタ橋が実際に近い合理的な設計であることはわかるのであるが、総合的に構造物としての安全度というような点は、荷重条件との関連において考えられなければならないと思うのである。ドイツの道路橋で採用している60 tあるいは45 tというような設計荷重の値を無視して、単に設計々算の idea あるいわ方法を、無批判にあらゆる case にとり入れることには大いに疑問がある。

以上結論として

- (1) 安全率という言葉の意味は、従来使用材料の均一性や設計々算上の仮定に対する信頼度などの面からだけ考えられがちであるが、構造物としての安全度は、むしろ活荷重に対する安全率のほうが重視されなければならない。道路橋のように半永久的に公共の用に供される構造物で、設計荷重に対する信頼度の低い構造物では特にそうである。
- (2) 道路橋の設計荷重として、ドイツの道路橋のように、いわば absolute maximum value を採用するとすれば、設計の合理化と構造物としての安全度とは必ずしも矛盾しない。また

将来そうした方向に進んでゆくべきものとする。しかしあらゆる形式の橋について、完全で十分実用的な設計々算法が見出されていない今日、一挙に設計荷重を増大することはいろいろ問題がある。こうして設計が合理的であればあるほど、構造部としての安全度が低下する場合があります。この点は架橋地点の状況に応じて十分考慮されなければならない。

- (3) いささか「丈夫な」という要素を強調しすぎたようである。しかし最近の道路橋で、「経済的に」ということがあまりに強調される反面、単なる個人の好みを経済性を無視してむやみと強調されて、強いもの、丈夫なものということが、設計荷重に対する盲目的な信頼感のかけにかくれて忘れられている場合が多いように思う。今日行われているいろいろな設計法によるいろいろな形式の橋は、それぞれに応じた適正な用途があるはずであつて、この点についての私見の一部を述べたつもりである。重ねて御批判をお願いする次第である。