

質問に対する回答

Q 1 : 架設補修等で一時的に圧縮を受ける補剛板において、縦補剛材が γ^* を満足しないケースが多々ある。この時、 K_F から R_F を算出して $\sigma_{cr} / \sigma_y = 1.5 - R_F$ として耐荷力を算出しても安全でしょうか？

安全ではありません。テキスト p.5 の右上の関係図で、 x 軸は線形関係にあるという保障はありません。また、分岐座屈となりますので座屈波形が補剛材間の板パネルから周辺支持補剛板全体となった時点で座屈耐荷力強度が補剛材剛性の程度に応じて下がるため、質問にある式では危険側の評価になると推測されます。

道路橋示方書を用いて設計するという観点では、十分な剛性を有さない補剛板の許容応力が板パネルを周辺支持板 ($\gamma = 0$) とした許容応力度より小さい値が架設時に生じる、という照査は可能と思いますが、 γ を評価しての許容応力度の設定は示方書の主旨 (必要剛比を満足する補剛材を使用することが前提) に反するので、問題があると判断します。

しかし、経済的な理由で、そうした方が大きなメリットがある場合には、不十分な剛性を有する補剛板の座屈耐荷力を汎用プログラム等で解析によって求め、それを 1.7 で割り、さらに架設時の許容応力の割り増し 1.25 を考慮して、許容応力を求めることも可能です。

Q 2 : 固有値解析で使う幾何剛性マトリクスの作り方はどの文献に書いてありますか？

マトリクス構造解析を扱った書籍であれば、解説があると思います。

例えば、「座屈設計ガイドライン改訂版(2005 年版)」、土木工学ハンドブック (15、力学モデルの数値解析)、構造力学公式集など。

Q 3 : 道示の横倒れ座屈は b/I で許容応力度を規定しているが、桁高が低くフランジ厚・幅が大きい場合も適用できますか？例えば web 面内より面外の方が曲げ剛性が大きい場合は横倒れ座屈が起きないのでは？

ご指摘の断面は、道示規定の $A_w/A_c < 2$ における許容応力度を適用することになります。ところで、テキスト p23 の ppt38 に示す横座屈モーメント式に対して、座屈前の変形を考慮した厳密な横座屈モーメント式は

$$M_{cr} = \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{EI_y GJ}{1 - I_y/I_x}} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \frac{EI_w}{GJ}}$$

となり、 $I_y > I_x$ では M_{cr} は存在しないことになります。つまり横座屈は発生しない訳です。しかし、橋梁に用いる部材断面は一般に $I_x \gg I_y$ であるため、実用性からテキストの式が適用され、しかも開断面においてねじれ定数比が一般に $\kappa < 0.4$ となるため、テキスト p24 の ppt39 の横座屈強度パラメータが用いられています。

はりの長さおよび境界条件がテキストの横座屈式を適用できる範囲にある場合や、桁の圧縮フランジ固定点の拘束が十分であり、その固定点間距離も適切であれば、ご指摘のように面内より面外の方が曲げ剛性が大きい場合や同等の剛性を有する場合は、横座屈は発生しません。そのような場合でも道示ではテキストの横座屈近似式を基本に横座屈に対する許容応力度を算出していますので安全側な評価となります。

Q 4 : 腹板の座屈の安全率は、純曲げ:1.40、純せん断:1.25 ですが、例えば地震時の許容応力度の割増が 1.5 なので座屈しても良い(?)ということになりますがそれでよいのでしょうか？

確かにそうで、鋭い指摘と思います。降伏に対して 1.7 の安全率か座屈に対するものかどちらかで決まります。しかし、弾性座屈するような腹板では、ご指摘のようなことが起こる可能性があります。ただし、起こっても、後座屈強度があり終局強度に対しては 1.7 以上の安全率があり、崩壊の危険性はないと思いますが、弾性座屈は発生します。神戸の地震でもラーメン橋脚の横梁腹板のせん断座屈は、この指摘の表れと考えられます。今後、この点について、すなわち、レベル 1 の地震以下の地震で弾性座屈が発生してもよいかという点については、十分に議論して、問題であれば、道路橋示方書を訂正する必要があるかもしれません。ご指摘ありがとうございます。

Q 5 : 分岐座屈って何ですか？

分岐点（座屈点）において、安定なつりあい、および不安定なつりあいなど、2 つ以上のつりあい状態が存在する分岐座屈現象をいいます。分岐点で、それまでの安定なつり合い状態から、不安定なつり合い状態に急激に移行する現象を分岐座屈あるいは単に座屈と呼ばれています。詳しくは座屈設計ガイドライン改訂版の「4.2 構造物の不安定現象」を参照ください。

Q 6 : ニールセンローゼ橋で荷重：死荷重、活荷重満載固定荷重は何故？ 活荷重を満載ってどういうことですか？

通常のアーチ系橋梁では、面内座屈モードが逆対称一次波形になるため、活荷重を支間方向に半載した場合の耐荷力が厳しくなりますが、ニールセン・ローゼ橋のアーチリブの耐荷力が問題となるのは、アーチクラウン近傍になるため、活荷重を全長にわたって満載する場合が対応します。

満載とは、道路橋示方書に定める活荷重を全長・全幅員に載荷する状態をいいます。

Q 7 : 有限変位理論って何？

座屈を解析する場合には、構造物のひずみや変位が大きいため、この影響を考慮して解析する必要があります。部材軸（ x 軸）方向のひずみは、たわみが大きくなると、通常の部材軸方向の変位を x で一回微分したもの以外に、たわみを x で一回微分して 2 乗して 2 で割った非線形なひずみが無視できなくなります。また、変形した後の状態でつりあいを考える必要も出てきます。この 2 点を考慮した非線形理論のことを、反映しない微小変形解析に対応して有限変位解析（理論）と呼んでいます。

同じく座屈設計ガイドライン改訂版の「7.2.1 幾何学的非線形解析」を参照ください。

Q 8：座屈とは直接関係ありませんが、道路橋示方書には冷間曲げ仕様の規定があります。その場合の吸収エネルギー値の規定ですが、示方書の値はあくまで試験片がフルサイズ採取可能な板厚と理解しています。実際には薄厚材（9 mm等）の使用もあります。（フルサイズの試験片採取不可）その場合の考え方と吸収エネルギー値をどう考えるか

JIS に規定されているサブサイズの試験片を用いることになります。その際の吸収エネルギー値は通常はサブサイズでもそのままの値を用いています。

板厚が小さくなると、鍛造効果により強度、靱性値などは高くなりますので、通常は板厚の小さい方は大きい方で規定しておけば十分カバーされていると考えられます。

（製鉄メーカーにヒアリングして回答しておりますが、適用に当たっては、改めて発注者、メーカーへの確認をお願いします）

Q 9：固定点間距離の節となる横組みの必要性能をご教示願いたい

道路橋示方書には「横倒れ座屈を拘束するような構造」とあり、これが必要性能と考えます。その照査方法となると、講義にて説明しました方法あるいは別途解析による検証になると考えます。例えば、横組みの寸法をパラメータにして、弾性座屈固有値解析を行い、横組み位置で節となる座屈モードと節にならない座屈モードとの強度が等しくなるという条件から、必要最小寸法をきめることができます。

Q10：付録に「はり」と「桁」の区別について書かれていますが区別できるのでしょうか

まぎらわしい解説で申し訳ありませんでした。

『日本語の区別』のことを指しておられるのであれば、現実には混用されており区別はされていません（片持梁といますが片持桁とは言わない）。梁は理論で使いますが、桁は梁を実際の構造物に組み上げた部材、という考えもあります。

『形状を見て区別ができるか』ということであれば、境界条件・拘束条件なども関係するため一概には言えません。あるいは、付録では「用語集」として言葉の意味を示したものとご理解ください。

Q11：座屈と屈服の違いについて詳しく説明して欲しい

大きな分類が「座屈」で、その中で「分岐座屈」「屈服」「飛び移り」「スナップバック」があります。

座屈を Q5 で定義した分岐現象と考えるなら、屈服は不安定現象ですが、分岐現象ではありません。詳しくは、座屈設計ガイドライン改訂版の「4.2 構造物の不安定現象」を参照ください。

また、以下のようなコメントをいただきました。ありがとうございます。今後の企画・運営の参考にさせていただきます。

予習ポイントなどをあらかじめ示していただければ参考になるのではないかと思います。

未来につながるような話題（夢があるような・・・）が欲しいと思いました。

テキストのパワーポイントのデータをもらいたい。HPなどで公開してもらえないだろうか。イブニングセミナーはもうやらないのですか？

継続教育プログラムは非常に有意義と思います。今後も企画されることを期待します。

方程式が出てくると厳しいです