

2020年度 鋼構造塑性設計小委員会 第2回 議事録

日 時：2020年10月21日（水） 14:30～19:15

場 所：オンライン会議（Zoom 会議）

出席者：聲高裕治（主査）、五十嵐規矩夫、石原清孝、井戸田秀樹、岩間和博、岡崎太一郎、金尾伊織、中野達也、向出静司、山西央朗、佐藤篤司（記録）

資 料

- No.02-01 2020年度鋼構造塑性設計小委員会第1回議事録（案）
- No.02-02-01 0720_e ラーニング化について_鋼構造塑性設計小委員会（聲高）
- 02 0821_講習会映像とスライドの e ラーニング化について（聲高）
- 03 1020_e ラーニング鋼構造塑性設計指針改定講習会の件（聲高）
- No.02-03-01 塑性設計指針の確認_前田憲太郎（北海道科学大学）（聲高）
- 02 北海道科学大学前田先生からの質問への回答（石原）
- No.02-04 4章 角形鋼管幅厚比制限値 資料 20201021（五十嵐）
- No.02-05-01 6章柱_01_85_595（佐藤）
- 02 6章柱_02_238（佐藤）
- 03 6章柱_03_22488（佐藤）
- 04 6章柱_04_85_1303（佐藤）
- 05 6章柱_05_237（佐藤）
- 06 6章柱_06_比較（佐藤）
- No.02-06 8章接合部：梁端接合部の改定・研究方針案（中野）
- No.02-07-01 02-06_メモ_竹内 200507（向出）
- 02 資料 02_16_01_設計法の枠組みメモ（井戸田）
- 03 資料 02_16_02_指針の再構築（井戸田）

議 題

1. 前回議事録（2020年度第1回）の確認

資料 No.02-01 に基づいて、前回議事録（案）を確認した。

- ・ 「3.3 節 10章改定内容」の中で、誤記を次のように修正することとした。
「最上階柱頭に塑性ヒンジ・・・」→「最下層（第1層）柱頭に塑性ヒンジ」
- ・ 鋼構造運営委員会からの意見にあった「軸力と2軸曲げを受ける H 形断面の全塑性相関曲線」については、「検討ください」という意見であり、必ず指針に含めてくださいという強い意見ではなかったことの補足説明があった。
- ・ その他の審議の内容については、異議なく承認された。

2. 鋼構造運営委員会報告

聲高主査より、運営委員会での審議内容について報告があった。（資料なし）

- ・ 2020年大会で予定されていた鋼構造 PD「次世代設計規準」は、2021年大会（東海）にスライドすることになった。

3. eラーニングについて

資料 No.02-02 に基づいて、聲高主査より、塑性設計指針改定講習会 eラーニングについて学会事務局とのその後のやり取りについて報告があった。

- ・ 問題とした下記3点については、それぞれ次の対応となった。

【問題点】

1. 講演者に玉井先生が含まれ、ご遺族の承諾を得ているかが不明である→事務局が承諾を得る
2. 著作権および肖像権の確認について→事務局が対応する
3. コンテンツ（ビデオとスライド）の編集について→担当委員が対応する（実施済み）

「3」についてはスライド毎の切り替え時間を担当委員が事務局に報告し、スライドと映像の紐付けは事務局が対応することとなった。スライド・映像の修正については、次の回答があった。

- i. スライドの入替え→可能
- ii. 映像の吹替え（説明の誤りを修正）→「不可能」

「ii」については、映像上にテロップを挿入する形で修正できないかとの意見が出された。事務局に再度確認することとした。

4. 11章設計例の質問対応

資料 No.02-03-01 に基づいて、聲高主査・中野委員より、北海道科学大学の前田先生からの質問について説明があった。資料 No.02-03-02 に基づいて、石原委員より、回答案が説明された。

- ・ 質問は以下の2点であった。また、回答については、次のようにすることとした。
 - ✓ 指針 p.252 に示す接合部パネルモーメントの計算式は柱梁が直交する計算式として示されているが、これは略式な解法でしょうか。
 - 柱梁が直交していると考えた略式の解法です。
 - ✓ 計算式の数値に誤りがないでしょうか。
 - 接合部パネルモーメント pM は誤りです。ご指摘の数値が正しいです。
 - 全塑性モーメントを算定する際は、降伏応力度を 1.1 倍した値としています。

上記の内容について、次回改定で記述を修正・補足することとした。

なお、質問は聲高主査に直接問い合わせがあったものであり、回答案を学会経由で提出必要がないことを事務局（伏見さん）に確認済みである。小委員会での審議後、聲高主査より前田先生に回答を送付した。

審議事項

5. 鋼構造塑性設計指針4版改定に関連する研究成果等

5. 1 重点審議：4章の改定内容

資料 No.02-04 に基づいて、五十嵐委員より、「4章 板要素の幅厚比」の改定内容について報告があった。

- ・ 角形鋼管部材の新規幅厚比尺度 S_H による幅厚比制限値について説明があった。塑性変形能力と幅厚比の関係式を、軸力比を 0.5 以下（塑性変形能力評価式においては、簡略化のため $n_p=0.5$ と厳しめに設定）、断面形状について近似（例えば、形状係数 (Z_p/Z) を $(0.89)^2$ ）を行うことで提案している。さらに、塑性指針が一つの指標として示す塑性率 4 以上 ($R \geq 3$) を確保する一般化幅厚比を提案している（資料 (11)式）。

- ・ 軸力比 $n_y=0.0$ とした場合に満たすべき一般化幅厚比は次式で表現される。軸力比の影響は右辺に乘じられる数値の大きさに影響する ($n_y=0.0$ のとき, 0.78)。

$$\frac{B}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} = A \sqrt{1 + 1.7 \frac{\beta}{\lambda}} \times 0.78$$

- ・ 軸力比 $n_y=0.5$ とした場合, 一般化幅厚比制限は次式となる。(溶接組立材の制限値となる)

$$\frac{B}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} = A \sqrt{1 + 1.7 \frac{\beta}{\lambda}} \times 1.09$$

- ・ 上記の提案式では, 冷間成形材を適切に評価できない場合があるため, 軸力比 $n_y=0.4$ とした値を用いることで指針が担保する塑性変形能力が確保できる。冷間成形材は次式が制限値となる。

$$\frac{B}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} = A \sqrt{1 + 1.7 \frac{\beta}{\lambda}} \times 1.01$$

- ・ 軸力比が 0.5 を超える試験体に関しては, 現行指針の制限式を用いる。

< 質疑 >

- 塑性変形能力評価式 R ((5)式) は, 軸力を考慮した弾性回転角 θ_{pc} で無次元化されている。現行指針は, 塑性変形能力を無軸力時の弾性回転角 θ_p に基づいて整理した結果となっており, 改定指針ではどのように記述していくかについて質問があった。
 - ◇ 指摘の通りであり, 今後検討する。
- 一般化幅厚比の制限値を示す (11)式は, 軸力比の影響が分母に入っており, 軸力比が大きくなるほど大きな幅厚比が許容できることとなり, 一般的な理解とは反対の傾向になっている。
 - ◇ 塑性変形能力評価式 R ((5)式) は, 簡略化のため $n_y=0.5$ として評価しているが, 新規幅厚比尺度 S_H では軸力比を残した状態となっているため, 計算過程で現れたものであり, 物理的に意味を持たせた値ではない。
- 提案する一般化幅厚比制限には軸力比が含まれないが, 軸力比を陽な形で残すほうがよいのではないか。
 - ◇ できる限り簡便に表現できる安全側の制限値を示している。軸力比を含む式については解説などへの記述を検討する。
- 塑性変形能力 $R=3$ は絶対的な数値なのでしょうか。
 - ◇ 現行指針の中では, 変形能力の一つの指標として用いている値であり, 第4版の中では現行指針と同じ目標性能とする。必要塑性変形能力に対応する幅厚比制限値の設定については今後 (第5版など) の改定内容と考えている。
- 提案式の有効数字について, 小数第一位までで表現することはできないか。
 - ◇ 小数第二位までの値を用いている場合もあり, 今の数値で表現したい。

5. 2 重点審議：6章の改定内容

資料 No.02-05 に基づいて, 佐藤より, 「6章 柱」の改定内容について報告があった。

- ・ 現行指針が規定する軸力と2軸曲げを受ける柱の制限式を1軸曲げ(構面内の曲げ)に適用すると, 構面内の曲げを受ける柱の制限式との連続性が確保されていない。また, 指針3章で規定する全塑性相関式が適用できる条件についても記されていない。以上の点を明らかにすべく実施された実験結果について資料 No.02-05-01 に基づいて紹介があった。以下の結果が紹介された。
 - ✓ 指針4章の幅厚比制限を満たし, 構面内での「塑性ヒンジを形成する柱の制限」を満たす柱で

あれば、軸力と2軸曲げを受ける柱は全塑性相関式(指針3章)に基づく耐力評価が可能であり、指針が示す塑性変形能力($R \geq 3$)も担保される。

- ・ 軸力比が大きく、また細長比も大きくなると柱の部材耐力評価には $P\delta$ 効果の影響を考慮する必要が出てくる。現行指針のモーメント拡大係数 ϕ が $P\delta$ 効果の影響を考慮する係数であるが、その判別式は弾性解に基づいており、設計式も含めて議論の余地があると言える。以上の点を明らかにすべく実施された解析的検討結果について資料 No.02-05-02, 02-05-03 に基づいて紹介があった。以下の結果が紹介された。
 - ✓ 「塑性ヒンジを形成する柱の制限」を満たさない柱について、モーメント拡大係数 ϕ の評価式を城戸・津田らが提案する式を基本として有限要素法に基づく解析結果の回帰分析から提案した。
 - ✓ モーメント拡大係数 ϕ を適用する柱の耐力設計式は、指針3章の全塑性相関式を拡張することで提案可能であり、塑性指針第2版の考え方も踏襲しながら安全側に評価可能である。
- ・ 資料 No.02-05-04 に基づいて城戸・津田の論文「角形鋼管柱の終局曲げ耐力に関する考察 -全塑性モーメントを発揮する条件-」(2020)が紹介された。論文はファイバーモデルに基づく数値解析結果を考察したものであり、鋼材特性は完全弾塑性モデルと設定されている。論文では、以下のことが示されていた。
 - ✓ 軸力と1軸曲げを受ける柱が全塑性耐力を期待できる条件は次式である。
$$n_y \cdot \lambda_{c0}^2 \leq 0.10(1+\kappa)^2$$
 - ✓ 指針では「骨組全体の安定性確保のための制限」と「塑性ヒンジを形成する柱の制限」に基づいて柱が規定されるが、多くの場合は「骨組全体の安定性確保のための制限」で決まることが示されている。つまり、多くの場合、柱は全塑性耐力を期待することができる。
- ・ 上述の城戸・津田の研究と類似した研究として資料 No.02-05-05 が紹介された。資料 No.02-05-05 では鋼材のひずみ硬化を考慮し、柱が全塑性耐力を確保すると同時に塑性変形能力($R \geq 3$)を担保できる条件式を提案している。
- ・ 資料 No.02-05-06 では、資料 No.02-05-04 と資料 No.02-05-05 が提案する条件式を比較した結果を示しており、大きな差異が無いことを確認した。

<質疑>

- 現行指針では、柱に規定する制限式を満たすことで、最大塑性変形角 0.02rad, 累積塑性変形角 0.2rad が確保できるとしているが、実験結果では最大塑性変形角が 0.05rad 以上確保できている。より大きな変形角まで許容できるのか。
 - ◇ 現行指針の角形鋼管の結果 (p.105) とはしっかりと対応が確認できていない。確認する。
- 階高における柱のせん断スパン比は通常 5~10 程度であり、対象としている試験体は長柱にならないか。
 - ◇ 試験体の細長比(L/i_x)は長いもので 50 程度であり、一般的に利用されるものと考えていた。ご指摘の通り、せん断スパン比は大きな試験体になり、長柱が対象になる。現行指針の中では、塑性ヒンジを形成する柱の制限とせん断スパン比との関係を解説に記述しており、制限式を満たさないケースは稀であることを述べている。
- 資料 No.02-05-06 の内容については、どのような利用を考えているか。
 - ◇ 全塑性耐力が確保できる柱の制限式を城戸・津田は提案しており、この研究成果を次回改定では利用したい。資料 No.02-05-05 は塑性変形能力を確保するための条件式を現行指針

との連続性で提案したものであるが、城戸・津田の提案式と傾向はおおよそ同じであった。

5. 3 重点審議：8章の改定内容

資料 No.02-06 に基づいて、中野委員より、「8章 接合部」の改定内容について報告があった。

- ・ 8章接合部の方針について確認を行った。
- ・ 梁端接合部の設計と保有塑性変形能力（最大塑性変形角・累積塑性変形角）の定量化について枠組みを確認し、資料表1に示す「塑性変形能力の目安」を定量化したいとの説明があった。
- ・ 最先端の設計法（限界曲線）について説明があり、梁端接合部の疲労曲線（塑性率 μ と破断回数 N_f 関係）について紹介された。梁端接合部の接合形式に応じて疲労曲線の係数 C が決定しており、スカラップ無、高性能仕口では係数 C が大きな値となり疲労寿命も大きくなる。また、塑性率ではなく、最大部材角で破断寿命を整理する研究成果（吉敷式）についても紹介された。
- ・ 吹田・田中らの研究により、延性破壊を対象として実験的に検討できる影響因子は網羅していると考えて良いことが紹介された。一方で、塑性率や最大部材角ではなく塑性歪振幅（平面保持を仮定した理論歪）で定量化されており、資料表1を高精度化するためには、スカラップ底および梁端フランジ端部の歪集中（理論歪に対する局所歪の比）を考慮した定量化が必要であることが示された。
- ・ 資料表1に示す「塑性変形能力の目安」の裏付けをするために（高精度化）、以下のことを実施する必要がある。なお、現時点では「溶接施工条件・材料的要因」については現行規定を前提とする。
 - ✓ 文献データのデータベース化
 - ✓ CDC解析による塑性歪振幅での統一的な評価
 - ✓ データ補充が必要な部分は追加実験を実施
 - ✓ 最大塑性変形角と累積塑性変形角について、各影響因子を評価する簡単な関係式にする。
- ・ 载荷履歴の影響については、妥当性が不明な部分もあるため、研究として検討は行いがノルマとはしない。
- ・ 資料表1に示す塑性変形能力は、塑性指針で示す指標と異なる部分もあるため、塑性指針が示す保有変形性能（塑性変形能力 R ）なども意識しながらデータ整理を進める。

<質疑>

- 第4版では梁端接合部は改定なしで良いか。
 - ◇ 現状、接合部設計指針（塑性率4以上を担保）以上は書けないので、改定なしになりそう。資料 No.02-06 のように研究の近況を記述するくらいでも良いのでは、との意見もあった。
- 変形能力指標についてはどうするか。
 - ◇ 塑性指針では、最大塑性変形角・累積塑性変形角・塑性変形能力を用いているため、統一した指標として用いる。第4版では、確保できる塑性変形能力($R \geq 3$)を担保する性能とする。
- 接合ディテールと保有変形性能について。
 - ◇ 設計者としては、表1に示すような数値として提示してもらえると使いやすい。
- 担保できる構造性能について
 - ◇ 必要とする構造性能は、本来設計者が決めるものであり、指針は保有性能を連続関数で提示できることが本来は望ましい。どのような終局状態になるかをイメージできる方がよい。

<接合部に関わる内容>

- ブレースとブレース接合部は、ブレース設計（7章）に纏めたほうが書きやすい。

◇ ブレース接合部は、7章の中で記述する。

➤ 接合部パネル・柱脚の扱いについてはどうするか。

◇ 接合部パネルは部材として扱うことが適当と言える。今後方向を決める。柱脚も独立させたほうがわかりやすい。

<派生した議論内容>

➤ 第4版では、確保できる塑性変形能力($R \geq 3$)を担保する性能とする。第5版以降では、必要性能に応じた書き方も可能だろう。その場合は、梁・柱などについても塑性変形能力を連続関数として表現する必要がある。

➤ 接合部破断や座屈後挙動の扱い

◇ 破断防止の接合ディテールについては「接合部設計指針」、座屈現象については「座屈設計指針」が取り扱うとしてすみ分けを行うほうがよい。

6 鋼構造の設計法のあり方

資料 No.02-07-01 に基づいて、向出委員より、「次の時代の鋼構造の設計体系」について竹内徹先生の資料に基づいて情報共有があり、設計体系のあり方について議論を行った。また、資料 No.02-07-02、02-07-03 に基づいて、井戸田委員が考える次世代設計規準について説明があった。

- ・ 竹内徹先生（東工大）が考える設計規準体系の姿について紹介があった。米国の設計規準体系について紹介しつつ、日本が目指す設計体系について学会規準・指針の位置付けが説明された。上位を「法的規定類」として、学会規準・指針は法的規定類の「引用・解説・追補・提案」とする。鋼構造で見れば、稀な外力に対して「鋼構造許容応力度設計規準」、極稀な外力に対して「鋼構造塑性設計指針」が配置される。鋼構造塑性設計指針の位置付けは「保有水平耐力計算」として、建築基準法への対応と考える。建築基準法非対応については「鋼構造限界状態設計指針・同解説」が位置付けられる。設計者に（絶対に）利用してもらえる設計体系とすることが主眼となった提案と言える。

<意見>

➤ 学会の刊行する指針類は、設計で困ったときの図書であり、通常の設計の中で見ることはあまりない。申請・適判等で指摘を受けた際に見ることはある。

➤ 検定は、電算で出た数値を見るが多いため、保有耐力がどの設計式に基づいているかは意識する機会は少ない。設計的に心配になる場合は、有限要素法解析などを用いて別途検討することが多い。

➤ 既存指針の切貼りの印象が強く、設計体系として整合性に欠ける。次の時代の新しい設計体系を構築するためには、まずはゼロクリアーして、新しく構築する必要がある。

➤ 法的に根拠の薄い部分の解説書的なイメージとなっている。

- ・ 井戸田委員より「次世代設計規準に向けて（メモ）」について説明があった。次世代設計体系では、「①どのくらいの外力（入力）」「②どの程度の損傷（変形）」「③要求を満たす具体的な方法」を明確にする必要がある。①は「建築物荷重指針」、②は「限界状態設計指針」③は「許容応力度設計規準」「塑性設計指針」が該当する。重要なことは②において設計者が「限界状態」を設定し、その限界状態に対応する設計法を③から選択し、設定した限界状態を満たすように設計を行うことである。

<意見>

➤ 黄色本に依存しない設計体系の構築が必要である。規準・指針とはその中で完結している記述とすべきであるが、現行規準・指針は完結していない。

- 限界状態は連続量であり，設定する限界状態を設計者に意識してもらう枠組みが必要である。
したがって，③では保有性能を連続関数として提示できるようにすることが望ましい。
- 限界状態の判定指標は種々あるが，現時点では層間変形角でイメージする方が設計者にはわかりやすい。

次回の重点審議は，3章（山西委員），5章（金尾委員），7章（中野委員）となった。

7. その他

次回小委員会：

日時：~~2021年1月下旬～2月末で調整する。後日決定する。~~（調整済み）

2021年2月19日（金）14:30～となった。

会場：建築会館（対面形式とする）

※ 状況によっては，オンライン会議とする。

以上