

鋼構造立体骨組モデルの最適設計における部材グルーピングに関する検討

最適設計 鋼構造骨組 構造計画
グルーピング 最小重量設計

正会員 ○慶伊 道夫 *
同 李 有震 **
同 五十子幸樹 ***
同 上谷 宏二 ****

1. 序

構造設計は、建物の変形や耐力、各部材の変形や応力などを考慮し、必要な条件をすべて満足する適切な断面を見出す複雑な作業である。良い断面を選択するには長年の経験や勘を要する。熟練した設計者はこれを短時間でできるものの、そうでない構造設計者には難しく、かなりの時間が必要となる。また、設計者の考え方や経験・能力の差により設計は異なったものとなる。著者らは最適設計手法を用いて、実務設計において考慮すべき全ての条件を組み込んだ新しい設計ツールを開発している^{[1]-[3]}。その設計ツールを用いると、様々な設計条件の下における解の比較を行い、その中からもっとも望ましい案を選択することができる。このツールによれば、構造設計者の個性に基づく設計解のばらつきも解消されるので、設計解の比較も行いやすい。また、経済的、時間的制限により実際の構造設計者が多数の試設計を行ってこのような比較を行うことは非現実的であるが、このツールはこのような問題も解決することが可能で、構造設計の意志決定において大きな力を発揮することが期待できる。

本論文では、構造設計の重要な行為の一つである部材断面のグルーピングを様々に変化させ、グルーピングの仕方が建物の総鋼材量にどのような影響を与えるかについて考察する。

2. 鋼構造立体骨組のモデル化

2.1 モデル化の条件設定

1階柱脚の境界条件はピンとし、基礎梁はRC造とするが設計変数としては扱わない。スラブは水平荷重を伝達する十分な剛性があると仮定し、S造梁とRC床との合成梁効果を考慮する。長期荷重時の解析モデルの柱軸剛性を十分大きな値として設定する。部材断面検討は、長期は節点モーメント、短期はフェースモーメントを用いることとする。

柱部材として冷間成形角形鋼管を使用することを前提にし、「冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル」に従って全体崩壊メカニズムとなるように、各層において柱の耐力の和が1.5倍した梁の耐力、または1.3倍した柱梁接合部パネルの耐力の小さい方の耐力よりも大きくなるような条件を設定する。

弾塑性解析は、簡単のため軸力と曲げの相関を無視した完全塑性ヒンジを弾性部材の両端に配置した弾塑性梁有限要素を用い、変位増分法によって行う。

2.2 荷重条件

建物の死荷重は 8kN/m^2 と仮定し、活荷重は建築基準法に定める事務所用の値を利用し、下記の条件を考慮する。

- ・長期荷重：建物に要求された設計荷重（固定荷重+積載荷重）から小梁の配置を考慮して $C \cdot M_0 \cdot Q$ 荷重を算定して大梁に作用させる。今回の解析では小梁の重量は無視する。
- ・短期荷重：1次設計用地震荷重として A_i 分布から算定した水平荷重を各層重心に作用させる（短期=長期±EX, 長期±EY）。
- ・2次設計用地震荷重：2次設計用地震荷重として必要保有水平耐力 Q_u を与える層水平力を P_m とし、荷重係数 λ を乗じた λP_m を漸増載荷して骨組の荷重増分解析を行なう。保有水平耐力 Q_u は最大層間変形角が指定値(1/75)となるときに各層が負担する層せん断力として評価する。

2.3 最適化問題

構造設計において単位面積当たりの鉄骨重量は建物のコストを支配する重要な指標である。本論文では、全ての鉄骨部材の体積の和を目的関数とし、鋼材総体積最小化問題を以下のように定式化する。

$$\text{Find } \mathbf{x} = \{ H_j, B_j, t_{wj}, t_{fj}, D_j, t_j \} (j=1, N_v) \quad (1)$$

$$\text{To minimize } f(\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^{N_v} A_j(\mathbf{x}) \times L_j \quad (2)$$

H_j : H形鋼のせい B_j : H形鋼の幅 t_{wj} : H形鋼のウェブ
 t_{fj} : H形鋼のフランジ D_j : 角形鋼管の幅 t_j : 角形鋼管の板厚
 A_j : 柱梁部材断面の断面積

今回は掘削量や接合部などの施工要因によるコストの評価は扱わない。数値最適化手法として勾配射影法を用いる。

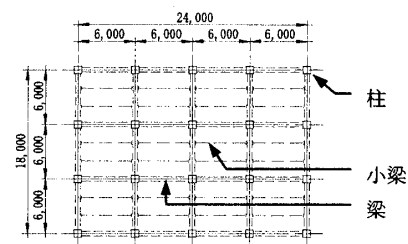


図1 鋼構造立体骨組モデル

3. 鋼構造立体骨組の最適設計問題

図1に示すような4×3スパンの長方形の形状で、各スパン長が6mで均等な平面をの建物を考える。地上5層とし、階高

は1層が6m、2層～5層が4mとする。構造形式は鋼構造純ラーメン骨組とし、梁はH形鋼、柱は正方形角形鋼管とする。

3.1 制約条件の設定

以下の制約条件を設定する。

①部材寸法の上下限値

梁： $200\text{mm} \leq H \leq 900\text{mm}$ 、 $100\text{mm} \leq B \leq 600\text{mm}$ 、
 $6\text{mm} \leq t_w \leq 19\text{mm}$ 、 $9\text{mm} \leq t_f \leq 40\text{mm}$

柱： $200\text{mm} \leq B \leq 800\text{mm}$ 、 $10\text{mm} \leq t \leq 40\text{mm}$

②層間変形角： $|R| \leq 1/200$

③保有水平耐力 ($Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot Q_{ud}$)： $D_s = 0.3$ 、 $F_{es} = 1.0$ 、
 Q_{ud} は1次設計用荷重と同じ分布形とする。

④1次設計時の長期・短期の応力制約

$$\left| \frac{M_j}{Z_j f_{bf}} + \frac{N_j}{A_j f_{cs}} \right| \leq 1, \quad \left| \frac{M_j}{Z_j f_{bf}} + \frac{N_j}{A_j f_{ct}} \right| \leq 1$$

⑤梁のたわみ制約： $d_j/l_b \leq 1/300$

⑥フランジ、ウェブの幅厚比：FAランクとする

3.2 グルーピングの設定

図1のモデルに対して、X・Y軸の対称性と荷重分布を考慮し、柱は1、2、3、6、12種類の5パターン、梁は1、2、4、8、10、17種類の6パターンのグルーピングを行う(図2)。柱・梁のグルーピングを組み合わせると30パターンになる。同一の設計制約条件下で最適化を行い、その結果を比較する。

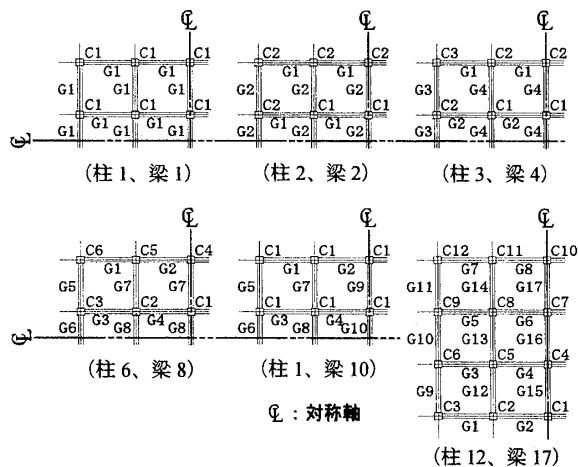


図2 モデルの各部材のグルーピングの例

3.3 最適化結果

30パターンのグルーピングに対する最適化の結果を図3、図4に示す。図3は柱のグルーピングを固定して梁のグルーピングを変化させた場合、図4は梁のグルーピングを固定して柱のグルーピングを変化させた場合について、それぞれの最適総鋼材量の変化を示した。

図3から、柱のグルーピングを1種類に拘束した場合、梁のグルーピング数を変動させても総鋼材量は増減しないこと

が分かる。柱が1種類なので地震時せん断力分布が均されてしまい、梁の応力が殆ど変わらないためであると考えられる。梁の場合も同じく、1種類だと柱のグルーピングを変化させても総鋼材量は殆ど変化しない(図4)。

図3、図4の結果から、梁は8種類以上にグルーピング、柱は2種類以上にグルーピングをすれば、総鋼材量は大きく減少することが分かる。逆に、それ以上グルーピングを増やしても総鋼材量には殆ど影響を及ぼさないことが分かる。

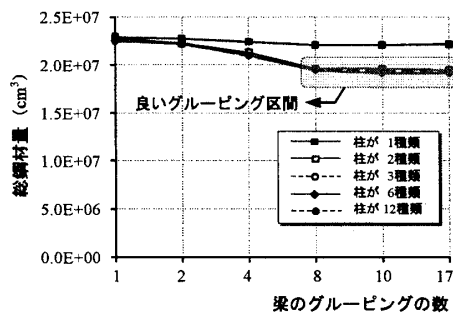


図3 梁のグルーピングと鋼材量の関係

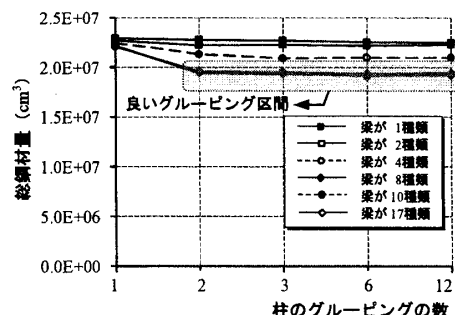


図4 柱のグルーピングと鋼材量の関係

5. 結論

鋼構造立体純ラーメン骨組の部材グルーピングを様々に変化させて、30パターンの最適総鋼材量比較を行った。その結果、梁は8種類、柱は外柱と中柱以上のグルーピングを行えば最適総鋼材量は大きく減少し、それ以上グルーピングを増やしても総鋼材量に大きな影響はないことが分かった。本検討結果は構造設計における意志決定に有用な一次情報として用いることができる。

<参考文献>

- [1] 慶伊道夫, 五十子幸樹, 李有震, 山川誠, 上谷 宏二: 最適設計手法に基づく鋼構造中層オフィスビルの試設計, 日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集, 第15巻, pp.21~26, 2007 [2] 李有震, 吉富信太, 五十子幸樹, 上谷宏二: 鋼構造ブレース付き立体骨組モデルの最適設計解特性に基づく総鋼材量予測法, 日本建築学会構造系論文集, 第639号, pp.813~820, 2009 [3] 荒木慶一, 李有震, 五十子幸樹, 上谷宏二: 建設需要を反映した新規鋼材寸法規格表作成情報抽出手法, 日本鋼構造協会鋼構造論文集, 第17巻, 第68号, pp.113-119, 2010

* 株式会社日建設計 構造設計部門 技師長

** 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 講師・博士(工学)

*** 東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻 准教授・博士(工学)

**** 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博

* Chief Engineer, Structural Dept., NIKKEN SEKKEI Ltd.

** Lecturer, Dept. Arch. & Arch. Systems, Kyoto University

*** Assoc. Prof., Dept. Arch. & Building Science, Tohoku University

**** Prof., Dept. Arch. & Arch. Systems, Kyoto University