

II. 鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準(案)の要点 梁部材・柱部材

北山和宏◎首都大学東京教授

はじめに

日本建築学会から2016年4月に発刊された『鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準(案)・同解説』(以下、本規準)の「18条 梁部材」および「19条 柱部材」の本文および解説の内容を紹介する。それらの主要な目的は以下の2点である。

- 1) 復元力特性の骨格曲線を定量的に定めること
- 2) 部材種別FAと同等の変形性能を有すると判定するための条件を提示すること

本規準では梁・柱部材に関して、曲げ挙動を表現する材端弾塑性回転ばねおよびせん断挙動を表現するせん断ばねによって両部材をモデル化する(図1)ことを原則とする。この際、曲げばねでは回転角と曲げモーメントとの関係(図2)、せん断ばねではせん断変形とせん断力との関係を各々規定する必要がある。それらは、図2のようないくつかの折れ線によってモデル化されることが多い。本規準では、剛性が急変する諸特性点(ひび割れ点、降伏点、終局点など)の変形と耐力とを定量的に評価する手法を提示した。

また現行の国土交通省告示によって、部材種別FAとはならない梁・柱部材において、配筋、軸力(柱の場合のみ)および部材形状などを限定することによって、部材種別FAと同等の変形性能を保有するとみなせる規定を本規準で提案した。具体的には、梁・柱部材のせん断補強指標($p_w \sigma_{we} / (\nu_0 F_c)$ 、記号は後述)が制限値以上になるように設計することで、本規準で想定した終局変形能力を発揮できるとした。現行法規による判定を、これにより結果的に緩和できる。なお、ここで想定した限界変形角は梁部材で2.5%程度、柱部材で2%程度であるが、これらの数値は目安値に過ぎず、研究の進展や社会の合意によって適宜変化するものと考えていただきたい。

以下に各条の本文を抜粋し、適宜解説を加える。

「18条 梁部材」の本文の抜粋

- 1) 梁の剛性および耐力は、曲げひび割れ、引張鉄筋の降伏などによる非線形性を適切に考慮して算定する。
- 2) 梁の剛性および耐力の算定は、下記によることができる。

①弾性剛性……ひび割れを考慮しない全断面から求める。

②曲げひび割れモーメント(省略)

③曲げ降伏モーメント……曲げ降伏モーメント M_y は、式(1)によることができる。

$$M_y = 0.9 a_t \sigma_y d \quad (1)$$

σ_y : 引張鉄筋の材料強度で[本規準の]表14.1の数値を用いる。(N/mm²) (他の記号は省略)

④曲げ終局モーメント……算定式は式(1)と同じである。ただし、引張鉄筋の材料強度 σ_y として、SD490を除いて[本規準の]表14.1の数値の1.1倍以下の数値とすることができる。

⑤降伏点剛性……菅野による降伏点剛性低下率 a_y を用いて算定する。

⑥せん断ひび割れ耐力……RC規準の荒川式によって算定する。

⑦せん断終局耐力……せん断終局耐力 Q_{su} は、以下の荒川mean式によって算定する。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_w^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right\} b j \quad (2)$$

(記号は省略)

3) 梁の部材種別は下記による。

- ①梁の部材種別 (FA, FB, FC および FD の4種類)

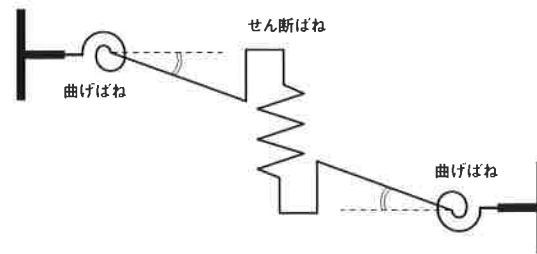


図1 柱・梁部材のモデル化

は、崩壊形成時の応力に基づいて、梁の破壊形式および靱性などに応じて算出する。なお、部材種別FAがもっとも靱性に富むものとする。

②部材種別FAと同等の変形性能を有すると判定するための条件

部材種別FBおよびFCと判定された場合、あるいはFDと判定されたがせん断破壊などの脆性的な破壊を生じないことが確認された場合に、式(3)および式(4)ならびに4)を満足すれば、当該梁部材は部材種別FAと同等の変形性能を有するものと判定することができる。

せん断補強指標:

$$\frac{p_w \sigma_{we}}{\nu_0 F_c} \geq 0.10 \quad (3)$$

内法長さ比:

$$l_0 / D \geq 2.0 \quad (4)$$

p_w : 梁のせん断補強筋比

σ_{we} : せん断補強筋の有効強度(N/mm²)で、材料強度([本規準の]表14.1の数値)とする。ただし、 $\sigma_{we} \leq 85 \sqrt{F_c}$ を満足するものとする。

ν_0 : コンクリートの有効強度係数(=1.7 $F_c^{-0.333}$)

F_c : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

l_0 : 梁の内法長さ(mm)

D : 梁せい(mm)

4) (構造規定は省略)

「18条 梁部材」の解説

「2) ⑦せん断終局耐力」について: 本規準では荒川mean式によって梁部材のせん断終局耐力を算定する。ここで、60N/mm²以下の高強度コンクリートおよび高強度せん断補強筋を使用した場合の式(2)の精度が問題になる。これを検証したのが図3である。計

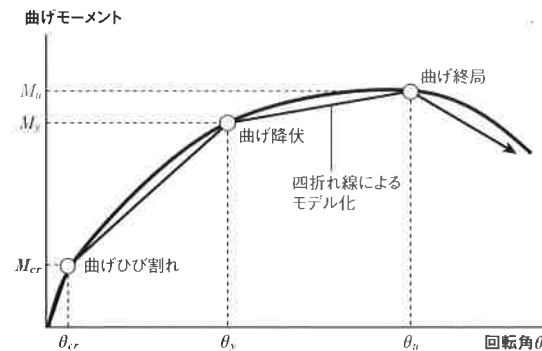


図2 曲げばねの復元力特性のモデル化

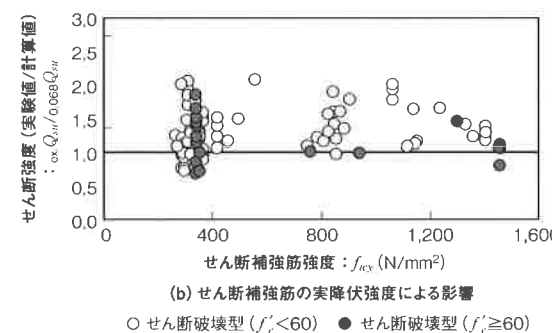
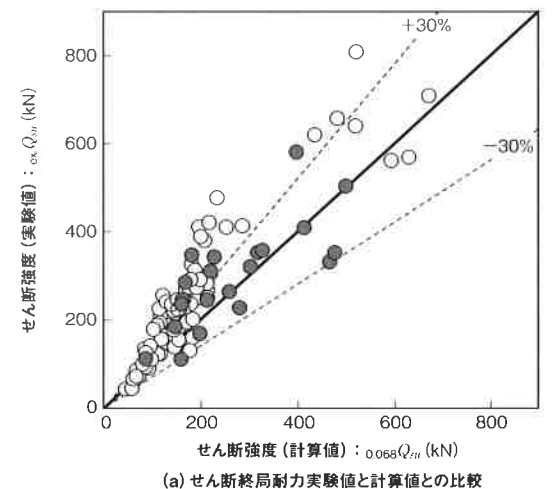


図3 式(2)によるせん断終局耐力の検証

算値に対する実験値の比の平均値は1.35で、変動係数は22.9%であった。また、同図(b)より高強度せん断補強筋を使用した場合でも、式(2)によるせん断終局耐力の計算値は実験値をおおむね上まわった。これより梁部材のせん断終局耐力を、式(2)によって安全に評価できると判断した。大臣認定を取得した高強度せん断補強筋では、認定済みのせん断耐力評価式を用いてよい。

「3) 梁の部材種別」について: 現行の告示では梁断面に生じる平均せん断応力度とコンクリートの設計

基準強度とによって部材種別を判定する。しかし部材種別FAと判定されなくても、せん断補強指標($p_w \sigma_{we} / (\nu_0 F_c)$)および内法長さ比が本文に示す規定を満たせば、部材種別FAと同等の変形性能を有すると見なせることを本規準では示した。

部材種別FAに相当する梁部材の変形性能は、これまで数値による明示はなされていない。そこで、『RC造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説』(日本建築学会, 1999年)に準拠し、優れた変形性能が要求される部材種別FAの限界変形角を2.5%程度に設定した。曲げ降伏が先行する部材において、人命に危険を及ぼすかぶりコンクリートの剥落が発生しにくい変形領域と判断したためである。

梁部材の実験によって得られたせん断補強指標と限界変形角との関係を、図4に示す。限界変形角の実験値は、最大耐力後に復元力特性の包絡線の耐力が最大耐力の80%に低下したときの部材角である。材料の実強度に基づくせん断補強指標($p_w \sigma_{we} / (\nu_0 \sigma_B)$)が0.08以上であれば、梁部材の限界変形角を2.5%程度以上とすることができる。ただし設計においては、コンクリートおよびせん断補強筋の材料強度には基準強度 F (規格降伏点およびコンクリート設計基準強度)を使用して、せん断補強指標($p_w \sigma_{we} / (\nu_0 F_c)$)を求めることになる。そこで材料の基準強度 F と実強度とのばらつきを考慮して、下限値の0.08を0.10に割増して式(3)を定めた。

「19条 柱部材」の本文の抜粋

- 1) 柱の剛性および耐力は、ひび割れ、主筋の降伏などによる非線形性を適切に考慮して算定する。
- 2) 柱の剛性および耐力の算定は、下記によることができる。
 - ①から⑤までは省略
 - ⑥せん断終局耐力……式(2)による梁のせん断終局耐力に軸力の寄与分($0.1\sigma_0 b \cdot j$, σ_0 :柱の圧縮軸方向応力度)を加えて評価する。
- 3) 柱の部材種別
 - ①柱の部材種別(FA, FB, FCおよびFDの4種類)は、崩壊形形成時の応力に基づいて、柱の破壊形式および靱性などに応じて算出する。なお、部材

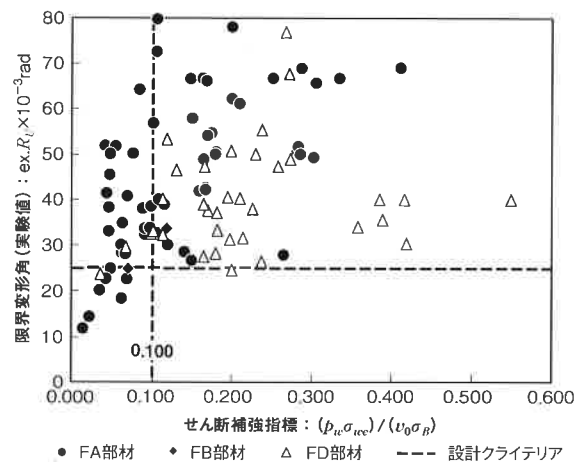


図4 せん断補強指標と限界変形角との関係

表1 部材種別FAと同等の変形性能を有すると判定することのできる柱の条件

部材	柱						
	条件	σ_0 / F_c の数値	せん断補強指標	h_0 / D の数値	p_s の数値	τ_w / F_c の数値	その他の規定
条件	せん断破壊、付着剥離破壊および圧縮破壊、その他の構造耐力上支障のある急激な耐力の低下のおそれのある破壊を生じないこと	0.45以下	式(5)を満足する	2.0以上	—	0.200以下	※1を満足する
		0.67以下		3.0以上	1.6%以上		

※1 ①各方向の副筋を2本以上とし、各辺の引張鉄筋を4本以上配筋する。
②せん断補強筋間隔は100mm以下、かつ最も小さい主筋径の6倍以下とする。(記号は省略)

種別FAがもっとも靱性に富むものとする。
②部材種別FAと同等の変形性能を有すると判定するための条件
部材種別FBおよびFCと判定された場合、あるいはFDと判定されたがせん断破壊などの脆性的な破壊を生じないことが確認された場合に、表1に示す条件を満足すれば、当該柱部材は部材種別FAと同等の変形性能を有するものと判定することができる。

せん断補強指標：
$$\frac{p_w \sigma_{we}}{\nu_0 F_c} \geq 0.30 \left[\frac{\sigma_0}{F_c} \right]^2 + 0.10 \quad (5)$$

 σ_0 :崩壊形形成時の柱軸方向応力度(N/mm²)
(そのほかの記号は梁と同じ)

- 4) 塑性ヒンジが発生しない柱部材の部材種別
塑性ヒンジが発生しないことを保証できる柱の部材種別は、柱に接合する梁の部材種別の最下位による。
- 5) (構造規定は省略)

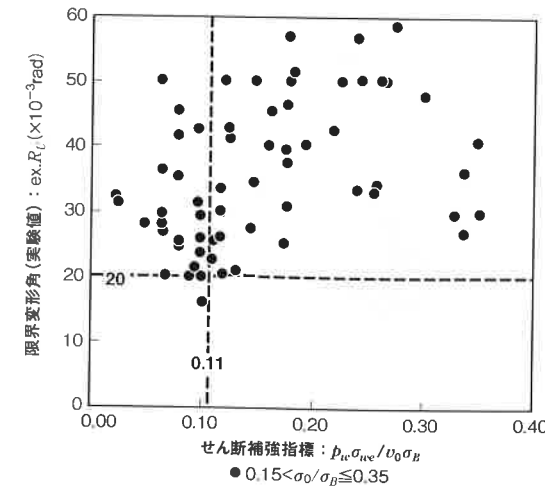


図5 柱のせん断補強指標と限界変形角との関係(軸力比が0.15を超えて0.35以下の範囲の場合)

「19条 柱部材」の解説

「2) ⑥せん断終局耐力」について：柱のせん断終局耐力は荒川mean式に圧縮軸力の寄与分を付加して評価する。柱軸力が釣合軸力を超える場合には、軸力と曲げモーメントとの相互作用を考慮して、釣合点での曲げ終局モーメントおよびせん断終局耐力を確認することが必要である。高強度せん断補強筋を使用した場合でも、当該評価式によって普通強度のせん断補強筋と同等の評価精度を確保できる。

「3) 柱の部材種別」について：現行の告示では柱の形状、軸力比、引張主筋比および断面の平均せん断応力度によって部材種別を判定する。しかし、現在は高強度のコンクリートやせん断補強筋を使用できる環境下にある。これらの材料強度を適正に選択し、柱の軸力に応じて適切なせん断補強を施し、部材の形状を制限することなどで部材種別FAと同等の変形性能を有するとみなせることを本規準は示した。

部材種別FAと同等の変形性能を有する柱の限界変形角は2%程度に設定した。これは、AIJ靱性指針で示された目安値であること、通常の柱は部材角2%までに曲げ終局耐力に到達して保有する構造性能を十分に発揮できること、などに依拠する。ただし、ピロティ柱のように変形が過度に集中し得る部材ではこの目安値を超える可能性があるため、別途当該柱の変形性能を精査しなければならない。

次に、せん断補強指標を制限する式(5)の導出過

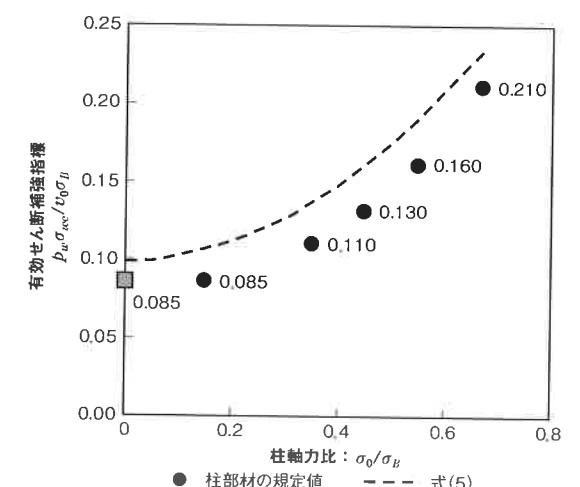


図6 柱軸力比とせん断補強指標との関係

程を説明する。柱の静的載荷実験の結果を用いて軸力比ごとに限界変形とせん断補強指標との関係を整理した。その一例を図5に示す。これは軸力比が0.15から0.35までの実験結果を選定したものであり、せん断補強指標が0.11以上あれば限界変形角2%を発揮できることがわかる。いくつかの軸力範囲において同様の処理を行い、柱軸力比とせん断補強指標との関係をまとめたのが図6である。軸力比ごとに決定したせん断補強指標の下限値に対して、コンクリートの圧縮強度およびせん断補強筋の降伏強度がばらついた場合でも安全側の評価を行うように、十分な余裕を確保して誘導した二次式が式(5)である。

軸力が柱の変形性能に与える影響はこのように重要なため、水平2方向入力による柱軸力の変動を適切に評価する必要がある。特に、隅柱や側柱などでは注意を要する。4本柱の建物などのように、隅柱の挙動が建物全体の耐震性能を支配する場合には、隅柱の軸力は直交方向の地震力によって生じる軸力をそのまま加算するなどして、適切に評価することが重要である。

しかし、加算すべき直交方向の変動軸力の大きさを定量的に定めることは容易ではなく、本規準の適用ルートにおける検討方法も含めて今後の課題であることを付記して、本稿を閉筆する。

(きたやま かずひろ)

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準(案)・同解説, 2016年