

[188] 連層鉄筋コンクリート耐震壁における耐力算定式の適合性について

正会員 高木仁之 (明治大学工学部)

1. はじめに

鉄筋コンクリート耐震壁のせん断終局強度に関する実験的研究はその加力方法により、曲げ・せん断実験、純せん断実験に分類される。曲げ・せん断実験は耐震壁をはりと見なしした集中荷重による単純ばり加力、連続ばり加力、片持ばり加力形式がある。一方、純せん断実験では、壁体の付帯ラーメンの軸方向剛性により対角線方向に加力するもので対角線一方向の圧縮、引張または二方向の圧縮引張加力形式がある。耐震壁のせん断終局強度の理論的研究は、それぞれの加力形式により行なわれている。曲げ・せん断実験では、耐震壁を片持ばりと見なし、はりのせん断終局強度式(大野・荒川式)によりI形断面を等価な矩形断面に修正した広沢氏の修正荒川式、壁体を圧縮コンクリート斜め材と引張柱からなるトラス機構に置換し、コンクリート斜め材の有効幅を決定した菅野式が掲げられる。また、純せん断実験では、壁板部と付帯ラーメン部に分解しその力学的解析が行われている。その中で富井、江崎氏はせん断ひびわれ発生以後の壁板を 45° 方向異方性弾性板と仮定し、エアリーの応力関数を用いフーリエ級数解析し壁板に対する付帯ラーメンの拘束作用やそれらの応力状態を示した。また、望月、山田、今井氏は壁板のひびわれ発生以後、コンクリート圧縮ブレース、壁筋を引張ブレースとしてトラス置換して解析している。山田氏は、付帯ラーメンの軸方向力を無視した形であるが荷重-変形曲線をとらえ、等価粘性減衰定数を示した。今井氏は、付帯ラーメンを鉄骨にし壁板のひびわれ後も弾性と仮定し、それらの応力を解析した。また、望月氏は壁板のひびわれ発生以後の拘束反力による付帯ラーメンの節点応力を、その辺長比、剛比をとり入れた形で明らかにしかつ軸方向力の影響も考慮した(文献2)。以上の研究は、優れた理論的解析に基づいているものの、耐震壁の破壊機構の複雑さにより最終的には実験結果を踏えた形で重回帰分析され、各因子に係数を乗じ修正した実験式にまとめられており、仮定された耐震壁の破壊形態を充分満足していない試験体結果も含まれると思われる。本論では、筆者らが過去10年間に行ってきた49体の試験体について破壊形態を分類し各提案式の適合性を検討した。

2. 試験体及び加力方法

試験体の形状を図1に示した。試験体の形状は49体とも壁厚の変化以外は同一形状である。試験体は3層で、6mスパン、60cm角の柱から成るラーメンを原形としてその $1/12$ のモデルで、幅方向は横ざくつを防ぐため $1/5$ とした。加力方法は片持ばり形式の曲げ・せん断加力で、水平力を3点荷重とし、3階から3:2:1の比に加力しまた、柱の軸方向力を柱1本に $2.4t$ ($\sigma = 40 \text{ kg/cm}^2$)とした。荷重履歴は1層部材角を基準として、1.1, 2.2, 4.4, 9, 18, $27 \times 10^{-3} \text{ rad.}$ のそれぞれで3回~5回のくり返しを行った。

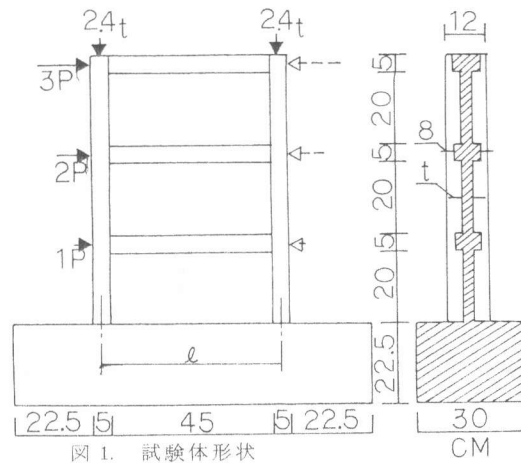


図1. 試験体形状

3. 破壊形式の分類方法

各提案式の適合性を検討するに先立ち、49試験体の破壊形式の分類を行った。曲げせん断加力形式の破壊形式の分類解析法としては、e関数法による曲げ降伏強度($M Q y e$)と修正荒川式($Q U 1$)との比較によった広沢氏提案のもの、曲げ終局強度($M Q U$)と修正荒川式($Q U 1$)との比較によった山口・菅野氏提案のものが掲げられ、その分類は曲げ、曲げせん断、せん断形式と3種類で表わされる。その分類した結果を図2、図3に示した。

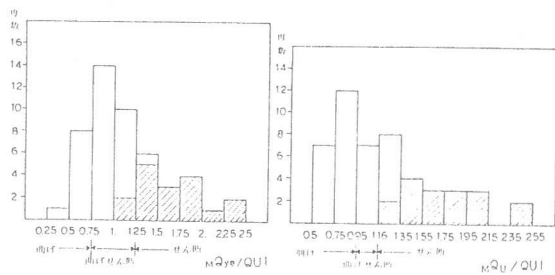


図 2. 広沢氏提案 図 3. 山口, 菅野氏提案

柱脚部柱主筋の歪測定結果から主筋の未降伏が確認されている試験体を図 2, 3 に斜線で表示した。広沢氏によるものでは, $MQye/QU1 \geq 1.25$, 山口・菅野氏では, $MQU/QU1 \geq 1.16$ 以上で柱主筋未降伏ものが集まり, せん断形式に分類され適合性の信頼度が高いことが示された。しかし, ここでは実験結果に基づいての分類が可能であり, 独自の分類方法を採用した。区分は上述と同じ曲げ, 曲げせん断, せん断形式の 3 種類とした。その分類方法を以下に記し, 実験結果より破壊形式を判断した因子を i) ~ iv) に示した。

- i) 柱主筋の降伏の有無
- ii) 実験時最大せん断強度 (QT) と e 関数法による曲げ降伏時せん断強度 ($MQye$) との比
- iii) 荷重-変形曲線の形 (図 4 の 1 ~ 3 型)

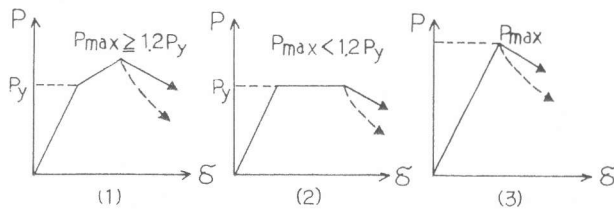


図 4. 荷重-変形曲線の形

- iv) きれつ及び破壊状況 (図 5 の A ~ D 型)

- A: 周辺フレームは顕著な破壊はなく壁板部のスリッブ状圧潰
- B: 圧縮柱脚部のせん断破壊及び壁脚部の圧潰
- C: 周辺フレーム及び壁板部せん断きれつによる分断
- D: 圧縮側柱せん断きれつ及び柱脚・壁脚部圧潰

試験体 49 体について以上の i) ~ iv) 項目に分類した結果を図 6, 図 7, 図 8 に示した。その結果試験体 49 体の破壊形式を次のように分類した。また, () 内は各破壊形式記号とその試験体数を示した。

- (1) せん断破壊形式 (S-18 体) …… $QT/MQye \leq 0.95$ 以下であるか, P- δ 形状の 3 型のもの次にせん断破壊形式の中で破壊形態の相違により 2 種類に分類した。

- I) 破壊形態 A 型 - せん断スリッ破壊 (SC-10 体)

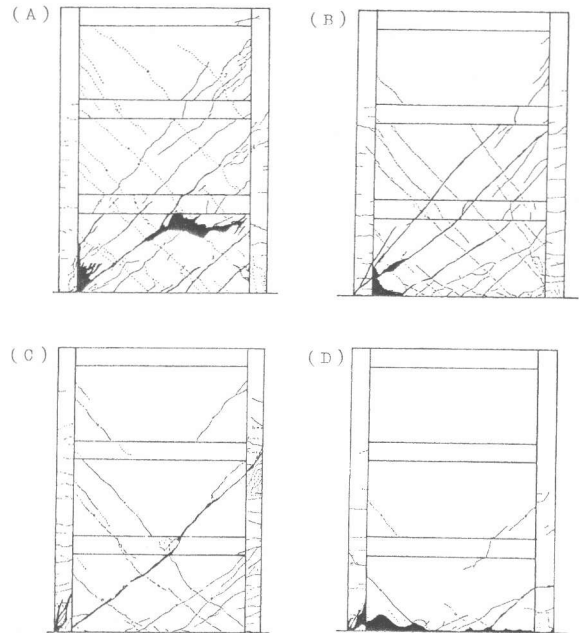
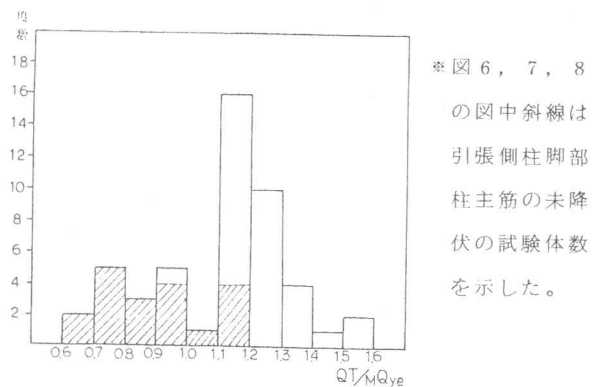


図 5. きれつ及び破壊状況形態



※図 6, 7, 8
の図中斜線は引張側柱脚部柱主筋の未降伏の試験体数を示した。

図 6. $QT/MQye$ に対する柱主筋降伏の有無とその度数

P- δ 形状	1 型	2 型	3 型	4 型	5 型	6 型	7 型	8 型	9 型	10 型	11 型	12 型	13 型	14 型	15 型	16 型	17 型	18 型	19 型	20 型
1 型	2	2	4	5	8	11	11	12	14	16	18	18	20	20	20	20	20	20	20	20
2 型	2	2	4	5	8	11	11	12	14	16	18	18	20	20	20	20	20	20	20	20
3 型	2	2	4	5	8	11	11	12	14	16	18	18	20	20	20	20	20	20	20	20

図 7. 荷重-変形曲線の形状とその度数

破壊形態	A 型	B 型	C 型	D 型
A 型	2	4	6	8
B 型	2	4	6	8
C 型	2	4	6	8
D 型	2	4	6	8

図 8. 各破壊形態とその度数

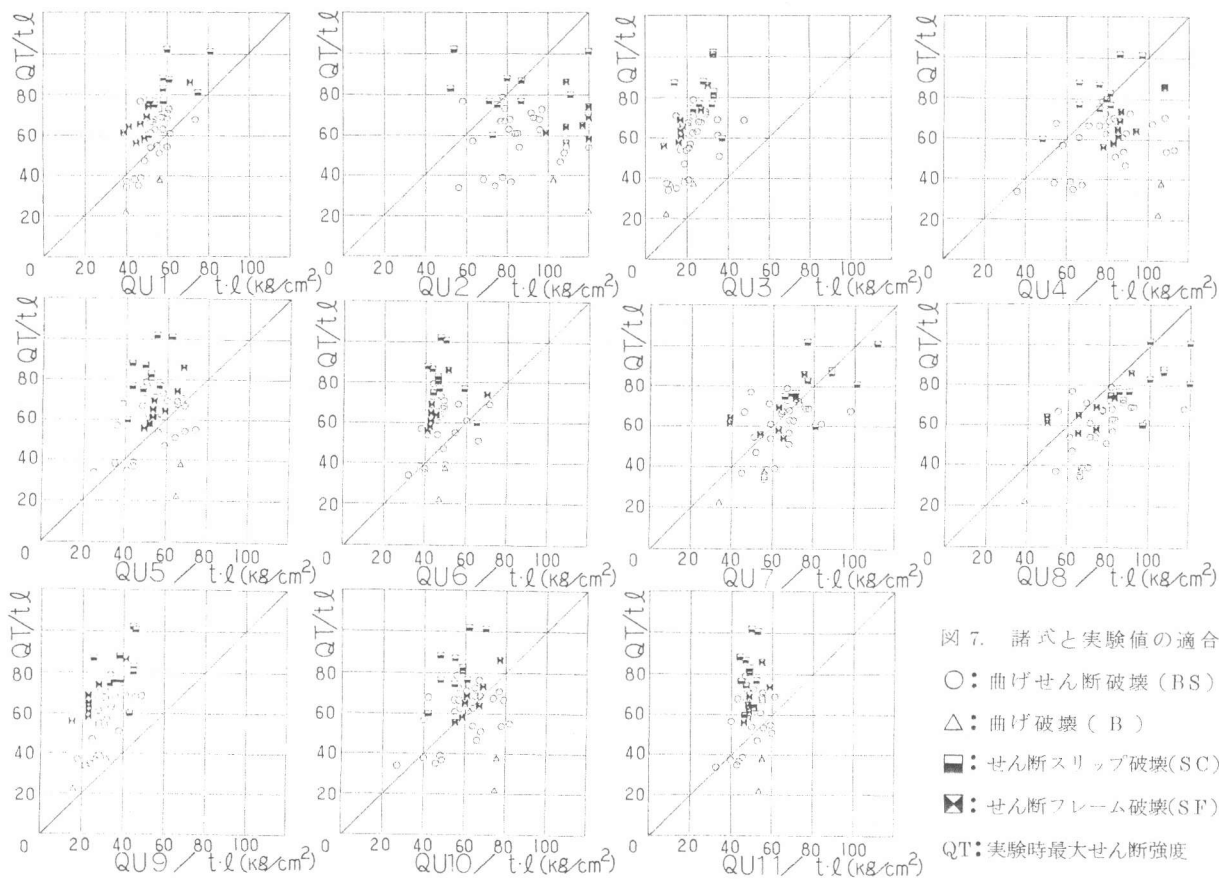


図7. 諸式と実験値の適合

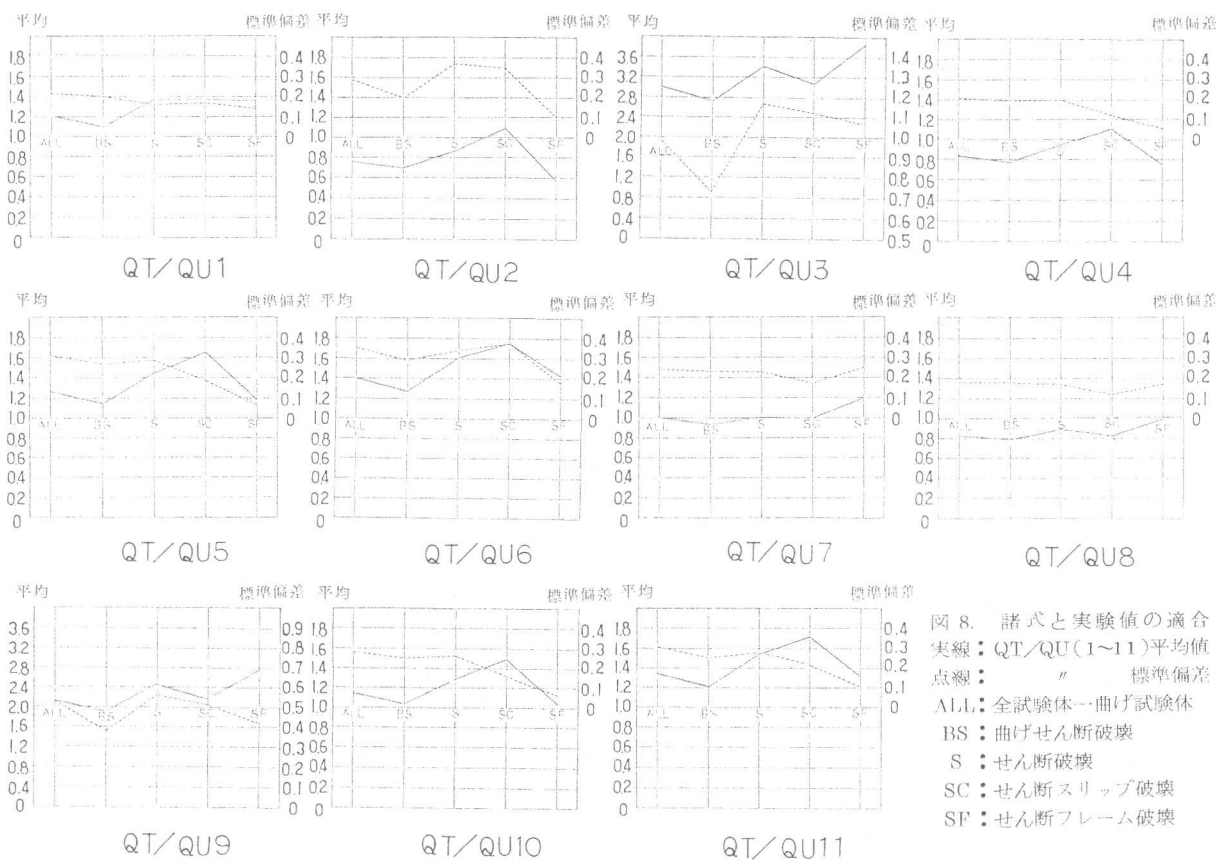


図8. 諸式と実験値の適合

II) 破壊形態 B 型 C 型 - せん断フレーム破壊 (SF-8 体)

(2) 曲げせん断破壊形式 (BS-2 8 体) …… $Q_T / M_{Qye} > 0.95$ かつ D 型破壊以外のもの。

(3) 曲げ破壊形式 (B-3 体) …… P-Σ 形状が 2 型で、 $Q_T / M_{Qye} > 0.95$ かつ破壊形態が D 型。

4. せん断終局強度の諸式及び解析に当って

せん断終局強度式はその破壊形態より壁板がスリップ状に広域に圧潰を呈するスリップ破壊 (SC), 周辺フレーム及び壁板部に生じた対角線方向のななめひびわれにより分断した破壊 (SF) に分類される。この破壊形態の分類に従って提案した式としては、富井式 (QU6, 7, 8), 望月式 (QU9, 10, 11), 今井式が掲げられる。しかし今井式は周辺フレームが鉄骨枠で与えられた式であるのでスリップ破壊式 (QU5) のみ計算対象とした。また修正荒川式 (QU1), 菅野式 (QU2), 山田式 (QU4) ではその区別はない。以上の計 10 式の他にひびわれ発生後のせん断終局強度式の学会式 (QU3) も対象とした。各提案式を表 1 に示した。諸式は 1 層 1 スパンを基本として提案されたもので 3 層耐震壁を解析するに当って図 9 に示した仮定を行い、それに基づき解析を行った。

5. 諸式の適合性

破壊形式の分類に従って諸式の適合性を図 10, 図 11 に示した。図 10 はせん断終局強度実験値, 理論値を平均せん断応力度 ($\bar{\tau} = Q/t \cdot \ell$) で比較した。また図 11 は諸式の計算値に対する実験値を各破壊形式別に平均値及び標準偏差で示した。曲げせん断加力形式による提案式では修正荒川式が BS 型に対して適合性が高い。また全体的に計算値が低く設計上安全側を与えた式と言える。純せん断加力形式によるものでは、山田式が破壊形式の相違に関係なく全体的に適合性が高い。SF, SC 型破壊形式をとらえた QU5 式 ~ 11 式についてみると、SF 型では QU8 式の富井式が適合性が高い。QU8 式は実験結果でみられるコンクリートの圧縮ゾーンを算入したもので、QU7 式は対角線方向のななめひびわれにより試験体が分断された場合でコンクリートの圧縮ゾーンがない場合とした。SF 型に対する適合性は QU8 の方がよく、破壊断面を実状と一致して決定できれば非常に適合性が高いと思われる。SC 型ではその破壊形式をとらえた諸式が SC 型については耐力を過小評価し、SF 型破壊形式に適合する結果となった。すなわち片持ばり加力形式の連層耐震壁では上下のはりの剛性が非常に高く、その結果せん断加力形式との相違が表われたと思われる。また望月式の QU10 式が SF 型に非常に適合 (相関係数 0.86) したことが注目される。

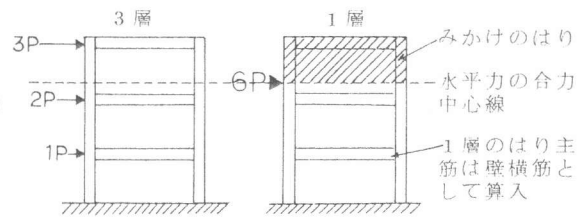


図 9. 3 層試験体の解析に対する仮定

表 1. 提案式の一覧表

式記号	式名	提案式	破壊形式
QU1	修正荒川式	$0.0679 P_s 0.2 J \frac{(180 + F_c)}{\sqrt{M/QD + 0.12}} + 2.7 P_{hw} \sigma_y + 0.1 C_s$ $be \cdot j$	S
QU2	菅野式	$5.6 t^2 F_c \ell \sqrt{\ell^2 + h^2} + P_{hw} \cdot s_{iw} \cdot t \cdot h$	S
QU3	学会式	$P_s \cdot t \cdot \ell \cdot t + \sum b_j \{1.5 f_s + 0.5 f_t (P_{w-0.002})\}$	S
QU4	山田式	$2/3 F_c L t \sin \theta \cos \theta$	S
QU5	今井式	$(0.2 F_c + 0.5 P_s \sigma_y) \cdot t \cdot \ell$	SC
QU6	富井式	$(2.4 \sqrt{F_c} + 3400 P_s) \cdot t \cdot \ell$	SC
QU7	同上	$(P_h \sigma_y \{ \frac{h}{\ell} - \frac{\sum D_c}{\ell} \tan \theta \} + 8.59 \frac{\sum D_c}{\ell} + 0.374$ $\frac{\sum \sigma_y b}{t \cdot \ell} + 0.262 (R \sigma_y + \frac{N}{t \cdot \ell}) \} t \ell / \{ 1 + \frac{\sum D_c}{2 \ell} \}$	SF
QU8	同上	$-(1 - 0.262 \tan \theta) (1 - \frac{\sum D_c}{\ell} - \frac{h}{\ell} \cot \theta) - 0.262 \frac{N}{2 \ell}$ $(1 + \frac{\sum D_c}{2 \ell}) \Sigma \psi$	SF
QU9	望月式	$0.54 C_1 P_s \sigma_y t \cdot \ell + 1.74 \times 2 C_2 (\bar{Q}_0 - \eta N) + 0.9$	SF
QU10	同上	$\frac{1}{\ell} (C_{s1} F_c + C_{s2} P_{hw} \sigma_y) t \ell$	SC
QU11	同上	$\frac{1}{\ell} (C_s \sqrt{F_c} + C_{s2} P_{hw} \sigma_y) t \ell$	SC

※ 諸式の記号は参考文献を参照のこと。

(謝辞) 本研究は 1983 年度明治大学工学部重点研究によるもので、本研究の遂行に関し終始御指導下さいました狩野芳一先生に深く感謝申し上げます。また、本研究担当の林和也、浜田千恵の両氏に感謝致します。

(参考文献)

- 富井政英: 鉄筋コンクリート耐震壁のせん断破壊の判別法 江崎文他: 第 4 回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1982
- 望月 重: 鉄筋コンクリート耐震壁の終局せん断強度に関する解析的研究, JCI, 1982, RC 構造せん断に関するコロキウム
- 今井 弘: 鉄筋コンクリート耐震壁のせん断ひびわれ後の性状に関する研究, 日本建築学会論文報告集第 268 号 S53 年
- 広沢雅也: 既往の鉄筋コンクリート造耐震壁に関する実験資料とその解析, 建設省建築研究所建築研究資料 No 6
- 山田 稔: 鉄筋コンクリート構造物の耐震安全性, 技報堂
- 菅野俊介: 鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関する研究 JCI, 1973.2