

## 論文 鉄筋コンクリート部材のせん断強度と寸法効果に関する一研究

寺井 雅和\*1・南 宏一\*2

要旨：本研究は，終局せん断強度の算定式として，日本建築学会の終局強度指針 A 法について検討を行い，寸法効果を考慮に入れた修正式を提案した。既往式の修正に当たって，コンクリートの一軸圧縮強度の実験結果から，部材寸法とコンクリート強度の関係を求め，この関係式をもとにトラス機構とアーチ機構で形成されるコンクリート圧縮束の応力を，部材寸法に依存して低減するという修正式を誘導した。この式の妥当性について，部材寸法が RC 部材のせん断強度に及ぼす影響を検討し，実験結果との適合性について調べた結果，修正式は既往の式よりも，実験結果を適切に評価できることが確認できた。

キーワード：寸法効果，せん断強度，鉄筋コンクリート，圧縮強度，アーチ・トラス機構

## 1. はじめに

通常，鉄筋コンクリート（以下，RC）などコンクリート構造物は，部材の寸法が大きくなるにつれて，相対的にその強度が低下するケースが多い。この現象を寸法効果といい，圧縮，曲げ，せん断などのそれぞれの破壊現象にあらわれるので，構造物の安全性を検討する上では極めて重要である。この現象は実験的に，1900年代の初期から知られているが，最近ではコンクリートの破壊力学の発展に伴って，寸法効果に関する理論的研究も進んできている<sup>1)</sup>。しかしながら，せん断破壊におけるメカニズムや寸法効果については，不明な点が多く，その現象の解明やこれを考慮に入れた算定式の確立が求められているところである。

従来，RC 部材の実用的なせん断強度算定式は，建築および土木のいずれの分野においても実験式によったものであった。建築では，大野・荒川式が土木では岡村・檜貝式がそれぞれの基礎になっている。一方，設計式のもつ意味を理論的に説明しようという試みから，従来の実験式によるものにかわって，理論式によるものが提案されてきた。日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」

<sup>2)</sup>（以下、終局強度指針）の A 法，B 法や「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」<sup>3)</sup>のせん断設計法などは，いずれも塑性理論の下界定理を展開したものであるが，実用的なせん断強度算定式として今日のわが国の設計法として取り入れられている。

せん断強度算定式における寸法効果については，土木学会コンクリート標準示方書<sup>4)</sup>や海外の CEB-FIP<sup>5)</sup>の式では，有効高さの増大に伴うせん断強度の減少（すなわち寸法効果）を考慮しているが，アメリカの ACI 式や先述の日本建築学会の提案している式ではこれが考慮されていない。

このことに関して，既往の式を検証して寸法効果を考慮した修正式を提案している研究がいくつかある。佐藤ら<sup>6)</sup>は，せん断補強筋がない RC はり部材のせん断強度を破壊力学的アプローチに基づき，寸法効果は有効高さの -1/2 乗に比例するとしたせん断強度算定式を提案している。また，白井ら<sup>7)</sup>は，せん断補強した RC はりの実験から寸法効果を評価する場合，ひび割れ面の破壊エネルギー ( $G_F$ ) により評価することを確認し，破壊力学の概念を用いて建築学会の終局強度式 A 法を修正したせん断強度算定式を

\*1 福山大学講師 工学部建築学科 博(工) (正会員)

\*2 福山大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

提案している。

これら二つの研究による提案式は、いずれもアーチ・トラス理論に基づいて導かれたものであるが、アーチ機構負担分に対して寸法の影響を考慮した形の算定式となっている。しかしながら、終局強度指針によれば、せん断強度は基本的にはトラス機構が主であり、補強筋が少ない場合のみにアーチ機構が付加的に成り立つとされている。そのため、補強筋量が多いRC部材においては寸法効果が考慮されないことになる。

以上から、本論では、終局強度指針A法をベースに、アーチ機構とトラス機構の両方に寸法の影響を考慮した適用範囲の広い修正式を提案することを目的とする。方法として、はじめに、コンクリートの一軸圧縮強度の実験結果から、部材寸法とコンクリート強度の関係を求める。次に、上記による関係式をもとに導いた終局強度指針A法の修正算定式を求め、この式の妥当性について、既往の実験結果との比較・検討を行う。

## 2. コンクリート一軸圧縮強度実験

「円柱型・角柱型の断面形」と「高さ-直径比(H/D)」をパラメータとした供試体の実験が既往の提案式でどのように表されるかを検討する。プレーンコンクリート供試体を製作し、一軸圧縮載荷実験を行った<sup>8)</sup>。

我国では円筒型標準試験体がコンクリート強度の評価の基準であることと、RC部材の圧縮束

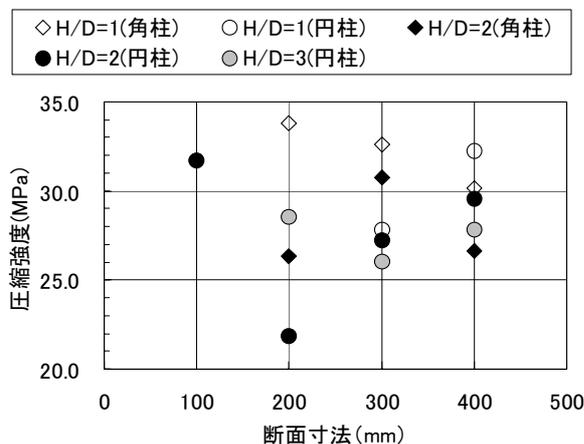


図 - 1 圧縮強度と断面寸法の関係

の形は角柱であることを考慮して、供試体の形状は円柱型と角柱型の二種類とした。供試体のパラメータは、この断面形状の他に、断面寸法(100mmから400mm)、形状比(高さと断面寸法の比1から3)とし、パラメータ毎に3体ずつ供試体を製作した。図-1には実験結果における圧縮強度と断面寸法の関係を示す。この図からは、明確な寸法効果は見られない。

### 2.1 材齢による実験結果の補正

本実験では材齢134日目から267日目まで実験を行っている。コンクリートは28日経つと強度の増進が安定するが、その後も少しずつ増加することが知られている<sup>9)</sup>。ここでは、全ての供試体と同じ割合で強度発現したものと仮定し、材齢が100日(標準試験体の材齢)となるように補正する。

### 2.2 形状による実験結果の補正

一般に“ずんぐり”した形状の供試体(高さと断面の比(H/D=1)が1:1)では、標準供試体(H/D=2)に比べて強度は高めとなり、逆に“細長い”形状(H/D=3以上)では、強度は低くなることが既往の研究から知られている<sup>9)</sup>。このたび行った実験では、H/D=1, 2, 3の3種類があるので、全ての供試体において以下の補正を行う。

- ・ H/D=1の供試体は5%強度を低減する。
- ・ H/D=3の供試体は10%強度を増加する。

### 2.3 既往の提案式との比較

2.1と2.2に基づいて図-1を強度補正した

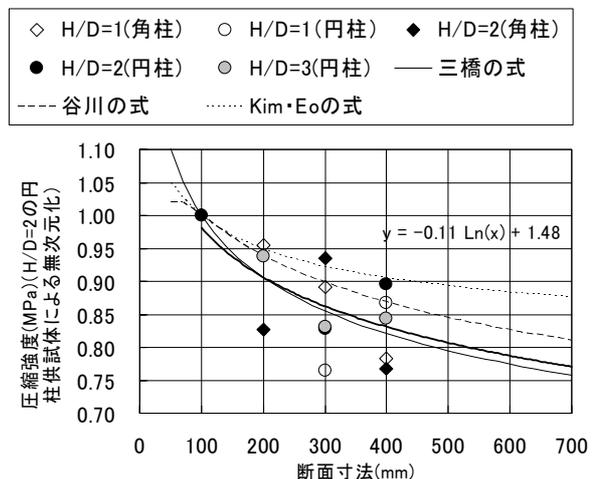


図 - 2 圧縮強度(無次元化)と断面寸法の関係

グラフを図 - 2 に示す。なお、図 - 2 では縦軸を断面寸法の直径が 100mm で、 $H/D=2$  の標準供試体の強度で無次元化している。この図 - 2 より、断面形状が円か四角かに関わらず、本実験結果は断面寸法が大きくなると、相対的に強度が小さくなるのがわかる。これらの近似式は図 - 2 に太線で示してある。

$$\sigma/\sigma_0 = -0.11\ln(d) + 1.48 \quad (1)$$

ここで、 $\sigma$  は圧縮強度 (MPa)、 $\sigma_0$  は標準試験体 ( $H/D=2$  の円柱供試体) の圧縮強度 (MPa)、 $d$  は供試体の断面寸法 (mm)。図 - 2 には圧縮強度に対してこれまでに提案されている 3 つの寸法効果評価式 (谷川式<sup>10)</sup>、三橋式<sup>11)</sup>、Kim Eo 式<sup>12)</sup>) をあわせて示してある。本実験の結果では、三橋の提案式が良い適合性を示していることがわかる。

### 3. 終局強度指針 A 法の修正

建築学会終局指針 A 法によると、部材のせん断強度 ( $V_u$ ) は、アーチ機構 ( $V_a$ ) とトラス機構 ( $V_t$ ) で計算される強度の和で表される。

$$V_u = V_a + V_t \quad (2)$$

$$\text{ここに、} V_a = \tan \theta (1 - \beta) b D v \sigma_B / 2 \quad (3)$$

$$V_t = b j_t p_w \sigma_{wy} \cot \phi \quad (4)$$

$$\tan \theta = \{ \sqrt{[(L/D)^2 + 1]} - L/D \} \quad (5)$$

$$\beta = \{ (1 + \cot^2 \phi) p_w \sigma_{wy} \} / (v \sigma_B) \quad (6)$$

ただし、 $p_w \sigma_{wy}$  が  $v \sigma_B / 2$  を超える場合は、 $p_w \sigma_{wy} = v \sigma_B / 2$  とする。 $\sigma_B$  はコンクリート強度、 $\sigma_{wy}$  はせん断補強筋の強度で、 $\sigma_{wy}$  が  $25 \sigma_B$  を超える場合には  $25 \sigma_B$  とする。 $b, j_t, D, L$  は、それぞれ部材の幅、主筋中心間距離、全せい、内法長さで、 $p_w$  は、せん断補強筋比である。また、 $v$  はコンクリート圧縮強度の有効係数、 $\phi$  はトラス機構のコンクリート圧縮束の角度で、A 法では以下による。

$$v = 0.7 - \sigma_B / 200 \quad (7)$$

$$\cot \phi = \min \{ 2.0, \quad (8)$$

$$\sqrt{v \sigma_B / (p_w \sigma_{wy}) - 1.0} \}$$

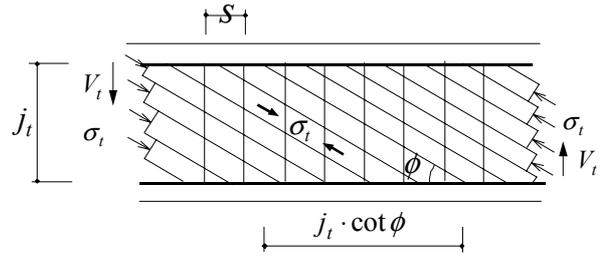


図 - 3 トラス機構における釣合い<sup>2)</sup>

寸法効果を考慮するに当たって、白井ら<sup>7)</sup>が RC はりのせん断強度算定式で示したように、既往の強度式において、コンクリート強度を部材寸法に応じて低減補正する方法を考える。

アーチ機構およびトラス機構におけるコンクリートの圧縮束の角度の違いを無視して、トラスおよびアーチのいずれかの機構に対して、部材幅が有効に寄与するものとして、塑性条件を導入する。そして、コンクリートの圧縮強度に対して寸法効果を考慮し、 $\lambda$  を導入したコンクリートの公称強度を用いると、次式の関係が成り立つ。

$$\sigma_N = \lambda (v \cdot \sigma_B) \quad (9)$$

ここで、 $\lambda$  は寸法効果に対する補正係数で、式 (1) より  $\lambda = -0.11\ln(d) + 1.48$ 。

トラス機構については、せん断補強筋が降伏していると仮定すると、トラス機構におけるコンクリート圧縮束の応力  $\sigma_t$  (図 - 3) は次式で与えられる。

$$\sigma_t = (1 + \cot^2 \phi) p_w \cdot \sigma_{wy} \quad (10)$$

(9) 式と (10) 式より  $\sigma_N = \sigma_t$  とすると、次の関係が導かれ、

$$(1 + \cot^2 \phi) p_w \cdot \sigma_{wy} = \lambda (v \cdot \sigma_B) \quad (11)$$

これを (4) 式に戻して整理すると、コンクリート強度をパラメータとした次式で表される。

$$V'_t = b \cdot j_t \cdot \lambda (v \cdot \sigma_B) \cot \phi / (1 + \cot^2 \phi) \quad (12)$$

一方、アーチ機構については、(3) 式に (9) 式を直接適用して次式で表す。

$$V'_a = \tan \theta (1 - \beta) b D \lambda (v \sigma_B) / 2 \quad (13)$$

表 - 1 計算用想定部材の諸元

部材全せい D(mm)	引張主筋比 P <sub>g</sub>	シアースパン比 M/Qd	帯筋比 p <sub>w</sub>	帯筋降伏点 (MPa)	コンクリート強度 F <sub>c</sub> (MPa)	軸力比 N/dF <sub>c</sub>
100-1000	0.008	3.0	0.0047	886	26.7	0.6

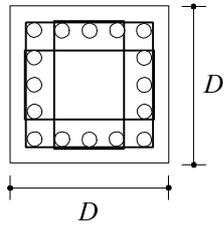


図 - 4 想定部材の断面

以上より、修正した終局強度指針 A 法（以下、修正 A 法）は、次式で表される。

$$V'_u = V'_a + V'_t \quad (14)$$

$$V'_t = b \cdot j_t \cdot \sigma_N \cot \phi / (1 + \cot^2 \phi) \quad (15)$$

$$V'_a = \tan \theta (1 - \beta) b D \sigma_N / 2 \quad (16)$$

ここに、

$$\sigma_N = \lambda (\nu \cdot \sigma_B) \quad (17)$$

$p_w \sigma_{wy} > \sigma_N / 2$  の時は、 $p_w \sigma_{wy} = \sigma_N / 2$  とする。

$$\cot \phi = \min \left\{ 2.0, \frac{j_t / (D \tan \theta), \sqrt{\sigma_N / (p_w \sigma_{wy}) - 1.0}} \right\} \quad (18)$$

$$\beta = \left\{ (1 + \cot^2 \phi) p_w \sigma_{wy} \right\} / \sigma_N \quad (19)$$

その他の記号や条件については、終局強度指針 A 法に準ずるものとする。

#### 4. せん断強度の算定比較

提案した修正式について、部材寸法を変化させたときのせん断強度の変化を算出し、この要因が RC 部材のせん断強度に及ぼす影響を検討する。また、修正式の適用性を確認するために、既往の実験を用いた計算を行う。

##### 4.1 対象とした RC 部材

修正式におけるアーチ機構負担分の寸法効果の影響を特に注目するために、計算に用いた RC 部材は、過去に当研究室で行われ、せん断補強を高配筋とした 2 つの RC 柱部材<sup>13),14)</sup>を対象として想定した。その断面を図 - 4 に、その他の緒元を表 - 1 に示す。正方形（辺長 D）の複鉄筋矩形断面とし、有効せい(d)、主筋間距離

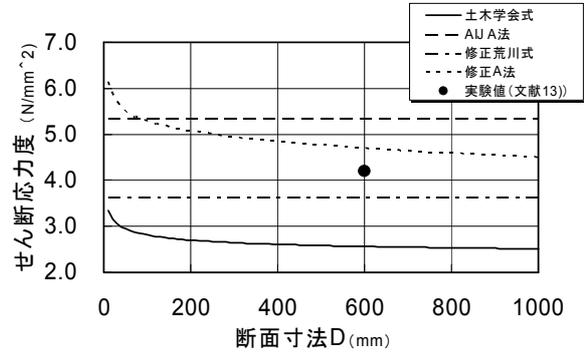


図 - 5 部材寸法によるせん断強度の変化

( $j_t$ ) は、それぞれ全せい D の 0.9 倍、 $7/8 (=0.88)$  倍として計算した。

計算要因として、部材寸法(辺長 D)について  $D = 100\text{mm}$  から  $1000\text{mm}$  のときに算出されるせん断強度を検討する。

##### 4.2 計算結果と考察

部材寸法の変化によるせん断強度の変化を図 - 5 に示す。同図中には、土木学会式、修正荒川式、終局強度指針 A 法、そして式(14)による修正 A 法の計算結果が示してある。

寸法効果が考慮されていない建築の 2 式に対して、部材有効高さの  $1/4$  乗に比例するとしている土木学会式では、部材寸法の影響を受けてせん断強度は変化している。

提案した修正 A 法は、部材寸法に依存してせん断強度が低下することが確認できる。そして、想定部材のもととなった、断面寸法  $600\text{mm} \times 600\text{mm}$  の RC 柱部材の実験結果については、修正前の A 法に比べ、よい対応を示すことも確認できる。

##### 4.3 実験結果との適合性に関する検証

提案した修正 A 法の妥当性に関して、文献 6), 7), 13) - 16) の実験結果を用いて検証する。ここで選定した試験体は、表 - 2 に諸元を示すように、矩形断面の部材幅が  $75\text{--}800\text{mm}$  で、せん断破壊をした RC 部材 27 体である。ただし、このうち 4 体は曲げ破壊が先行したものが含まれて

表 - 2 計算対象とした試験体の諸元および結果

	コンクリート強度 MPa	部材高さ mm	部材幅 mm	引張鉄筋比 -	せん断補強筋			平均軸圧縮応力度 N/mm <sup>2</sup>	破壊形式	実験値 kN	計算値 kN				参考文献
					補強筋比 -	降伏強度 MPa	ピッチ mm				土木学会式	修正荒川式	A法	修正A法	
RC21	30.0	500	500	0.0088	0.0057	295	100	3.0	せん断	1067.0	368.4 (0.35)	578.4 (0.54)	938.0 (0.88)	1310.9 (1.23)	15)
C31M	30.0	450	450	0.0175	0.0063	295	150	6.0	せん断	799.0	349.8 (0.44)	519.7 (0.65)	777.0 (0.97)	1040.6 (1.30)	15)
C33M	30.0	450	450	0.0175	0.0095	295	100	6.0	せん断	997.0	460.3 (0.46)	566.3 (0.57)	1034.0 (1.04)	977.9 (0.98)	15)
C35M	30.0	450	450	0.0175	0.0146	295	65	6.0	せん断	1163.0	638.7 (0.55)	626.4 (0.54)	1284.0 (1.10)	1037.5 (0.89)	15)
C68M	70.0	450	450	0.0175	0.0119	295	80	16.1	せん断	1611.0	585.2 (0.36)	950.8 (0.59)	1358.2 (0.84)	1495.2 (0.93)	15)
A6	40.0	300	300	0.0126	0.008	930	50	12.0	せん断	600.0	306.5 (0.51)	380.3 (0.63)	761.2 (1.27)	649.0 (1.08)	14)
B3	20.7	300	300	0.0126	0.008	831	50	6.2	せん断	407.0	268.4 (0.66)	289.9 (0.71)	459.0 (1.13)	391.4 (0.96)	14)
B8	64.3	300	300	0.0126	0.008	851	50	19.3	せん断	678.0	296.5 (0.44)	473.8 (0.70)	860.1 (1.27)	733.3 (1.08)	14)
FS27CA	27.1	800	800	0.0045	0.005	358	100	2.7	曲げ	1375.0	455.7 (0.33)	1239.5 (0.90)	2334.4 (1.70)	2797.4 (2.03)	16)
FS36CA	36.0	800	800	0.0045	0.0026	800	150	7.2	曲げ	1977.0	594.2 (0.30)	1630.7 (0.82)	2761.6 (1.40)	3444.4 (1.74)	16)
FS36NC	36.0	800	800	0.0045	0.0026	800	150	7.2	曲げ	2062.0	594.2 (0.29)	1630.7 (0.79)	2761.6 (1.34)	3444.4 (1.67)	16)
RC600	27.2	600	600	0.0045	0.0047	904	100	16.3	曲げ	1510.0	1033.0 (0.68)	1319.1 (0.87)	1962.5 (1.30)	1523.6 (1.01)	13)
L-25-1	36.9	300	150	0.0153	-	-	-	-	せん断	51.6	32.5 (0.63)	51.6 (1.00)	69.5 (1.35)	59.2 (1.15)	6)
L-50-1	36.7	600	150	0.0153	-	-	-	-	せん断	282.0	54.5 (0.19)	102.8 (0.36)	138.4 (0.49)	107.5 (0.38)	6)
L-100-1	34.7	1130	350	0.0136	-	-	-	-	せん断	332.0	192.9 (0.58)	423.7 (1.28)	586.3 (1.77)	414.3 (1.25)	6)
M-25-1	57.5	300	150	0.0153	-	-	-	-	せん断	56.7	37.6 (0.66)	71.1 (1.25)	86.6 (1.53)	73.8 (1.30)	6)
M-50-1	57.7	600	150	0.0153	-	-	-	-	せん断	102.8	63.4 (0.62)	142.6 (1.39)	173.4 (1.69)	134.6 (1.31)	6)
M-100-1	55.3	1130	350	0.0136	-	-	-	-	せん断	347.9	225.3 (0.65)	590.5 (1.70)	751.5 (2.16)	531.1 (1.53)	6)
U-25-1	95.6	300	150	0.0153	-	-	-	-	せん断	47.7	44.6 (0.93)	107.2 (2.25)	77.5 (1.62)	66.1 (1.39)	6)
U-50-1	95.9	600	150	0.0153	-	-	-	-	せん断	88.7	75.1 (0.85)	214.9 (2.42)	154.4 (1.74)	119.9 (1.35)	6)
U-100-1	95.0	1130	350	0.0136	-	-	-	-	せん断	287.9	269.9 (0.94)	911.8 (3.17)	685.9 (2.38)	484.8 (1.68)	6)
S-PROT	28.5	150	75	0.0195	0.0035	370	53	-	せん断	55.9	13.9 (0.25)	21.0 (0.38)	29.3 (0.52)	63.7 (1.14)	7)
M-PLOT	29.0	300	150	0.0194	0.0035	412	120	-	せん断	182.3	51.6 (0.28)	86.6 (0.47)	88.7 (0.49)	228.7 (1.25)	7)
L-PLOT	29.1	600	300	0.0193	0.0035	376	240	-	せん断	667.4	178.6 (0.27)	339.4 (0.51)	474.8 (0.71)	864.9 (1.30)	7)
H-10	22.9	600	300	0.0193	0.0035	326	240	-	せん断	730.1	161.0 (0.22)	304.1 (0.42)	357.0 (0.49)	707.7 (0.97)	7)
H-15	23.1	900	450	0.0193	0.0035	353	360	-	せん断	1721.9	352.9 (0.20)	699.0 (0.41)	595.1 (0.35)	1469.0 (0.85)	7)
H-20	25.2	1200	600	0.019	0.0035	357	480	-	せん断	3120.3	611.6 (0.20)	1277.0 (0.41)	1472.9 (0.47)	2738.6 (0.88)	7)

※( )内の数値は、計算値/実験値

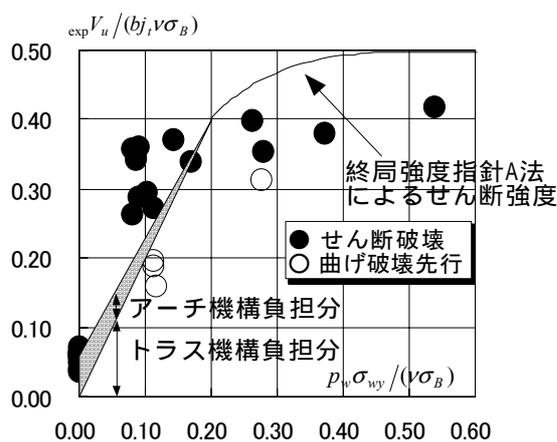


図 - 6 検討対象試験体のせん断応力度とせん断補強率の関係

いる。表 - 2 に示すように、軸力が作用したものの、せん断補強筋がないものも含まれている。

これら試験体の実験結果（せん断応力度； $\exp V_u / (b_j v \sigma_B)$ ）とせん断補強率（ $p_w \sigma_{wy}$ ）の関係を図 - 6 に示す。図中の  $\bullet$  がせん断破壊したものの、 $\circ$  が曲げ破壊が先行したものである。また、図中の実線は終局強度指針 A 法によるアーチ機構負担分（網掛け部分）とトラス機構負担分を表したものであり、せん断補強率が 0.2 以上の場合に、アーチ機構負担分がゼロになるが、この領域に含まれる試験体は 5 体、またせん断補強筋がない場合、トラス機構負担分がゼロになるが、この試験体は 9 体である。なお、断面寸

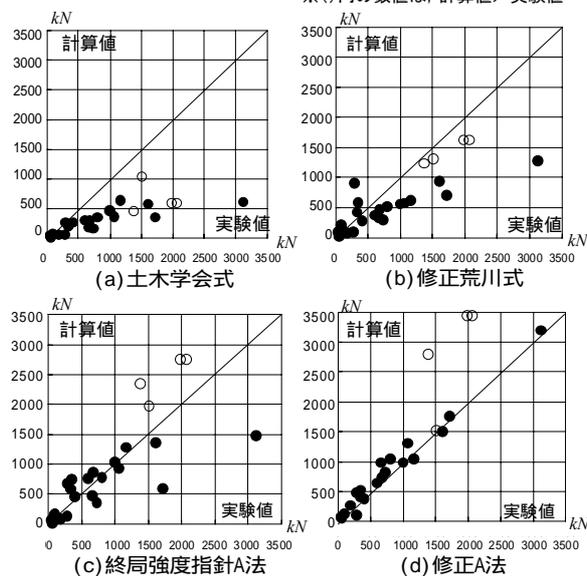


図 - 7 せん断強度の計算値と実験値の関係

法が正方形でない部材については、式(9)による値は部材高さ(長辺)を部材寸法  $d$  として計算した。

図 - 7 に、土木学会式、終局強度指針 A 法、修正荒川式、修正 A 法によるせん断強度の計算結果と実験結果の比較を示す。土木学会式や修正荒川式は、計算値が安全側に評価されることがわかる。終局強度指針 A 法はおおむね実験結果を適切に評価しているが、そのばらつきはやや大きい。しかし、提案した修正 A 法によると、曲げ破壊が先行した 3 体を除けば、修正前の A 法と比較して、概ね実験結果を適切に評価でき

ることが確認できる。ただし、寸法効果を考慮し、低減修正している修正 A 法の方が終局強度指針 A 法よりも高い計算値を与えている場合がある。これは、トラス機構負担分の境界条件の検討が不十分であり、これを過大評価しているためと考えられるが、この問題に関する詳細な検討は今後あらためて行うこととした。

## 5. まとめ

本研究では、せん断強度の算定式として、日本建築学会の終局強度指針 A 法について、アーチ機構とトラス機構それぞれの項に寸法効果を考慮に入れた修正式を提案した。既往式の修正に当たって、コンクリートの一軸圧縮強度の実験結果から部材寸法とコンクリート強度の関係を求め、この関係式をもとにせん断強度が部材寸法に依存して低減するという式を誘導した。

提案した修正式の妥当性について、部材寸法が RC 部材のせん断強度に及ぼす影響を検討し、実験結果との適合性について調べた結果、この式は従来から用いられている算定式よりも、実験結果を適切に評価できることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 例えば、破壊力学の応用研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、1993
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、1999
- 4) (社)土木学会：平成 8 年制定コンクリート標準示方書[設計編]、1996
- 5) CEB-FIP : Model Code 1990, Comite Euro-International du Beton, Bulletin D'Information No.213/214, Lausanne
- 6) 藤田学, 佐藤良一ほか：高強度コンクリートを用いた RC はりのせん断強度と寸法効果, 土木学会論文集 No.711/V-56, pp.161-172, 2002.8
- 7) 白井信明, 森泉和人ほか：超大型寸法を考慮した RC 梁のせん断強度の寸法効果 (その 2) 破壊力学概念を用いたせん断強度式, 日本建築学会 1997 年度大会 (関東) 学術講演梗概集, 構造, pp.285-286, 1997.9
- 8) 永富泰宏, 寺井雅和, 南宏一：無筋コンクリートの圧縮破壊性状に及ぼす寸法効果に関する実験的研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 24 巻, pp.45-52, 2001.3
- 9) 例えば, 日本コンクリート工学協会編：コンクリート便覧 [第二版], 技報堂出版, 1996
- 10) 谷川恭雄, 山田和夫：コンクリートの圧縮強度の寸法効果について, 日本建築学会論文報告集, 第 262 号, pp.13-21, 1997.12
- 11) 和泉正哲, 三橋博三：確率過程論に基づいたコンクリートの破壊理論 Part, 日本建築学会論文報告集, 第 310 号, pp.1-8, 1981.12
- 12) Jin-Keun Kim, Swong-Tae Yi, Chan-Kyu Park, and Seok-Hong Eo: Size Effect on Compressive Strength of Plain and Spirally Reinforced Concrete Cylinders, ACI Structural Journal, Jan.-Feb.1999
- 13) 寺井雅和, 永富泰宏, 爰河知紀, 南宏一：変動軸力を受ける実大 RC 柱の弾塑性挙動に関する実験的研究 (その 1, 2, 3), 日本建築学会 2001 年度大会 (関東), pp.381-386, 2001.9
- 14) 山下祐司, 桑田祐次, 南宏一ほか：8000kgf/cm<sup>2</sup> 級の高強度せん断補強筋を用いた鉄筋コンクリート柱のせん断破壊性状に関する実験的研究 (その 1~5), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.1-10, 1997.9
- 15) Alcantara Primo Allan and Hiroshi Imai: Failure Mode Classification of RC Columns by the Analysis of the Main Bar Strain Distribution Based on the Truss and Arch Model, Concrete Research and Technology, Vol.10, No.2, pp.13-28, 1999.5
- 16) 中谷誠, 荒木秀夫ほか：石炭灰を使用した実大鉄筋コンクリート柱の耐震性能 その 1. 実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), C-2, pp.343-345, 2002.8