

論文

[2204] プレキャスト耐震壁鉛直接合部のせん断特性に関する研究

磯 健一\*1・柳沢延房\*2・岡田隆幸\*3

1. はじめに

本研究は、RC造高層住宅において、プレキャスト（PC）耐震壁の合理的な接合方法の開発を目的として、PC耐震壁鉛直接合部の正負交番繰返し加力によるせん断実験を行い、鉛直接合部の剛性、強度、破壊性状を把握し、接合部内の補強筋の効果及び拘束の影響を確認し、PC耐震壁の設計の基礎資料を得るものである。

2. 実験計画

2.1 PC耐震壁の概要

本研究で対象とするPC耐震壁を用いた建物の構法概要を図1に示す。桁行方向は現場打ちRC造柱とハーフPC梁からなる純ラーメン構造であり、梁間方向は2枚の梁付PC耐震壁を中央にて鉛直に接合した独立連層耐震壁となっている。耐震壁の鉛直接合部では、シアーコッタを設け、ループ状のダボ筋と拘束筋を配筋しており、コッターとダボ筋で鉛直方向のせん断力に抵抗し、ダボ筋に作用する引張力を拘束筋で抵抗するものとした。

2.2 試験体

本研究では、図1に示すPC耐震壁の鉛直接合部のうち、図2に示す部分を想定し、せん断実験を行う。試験体は、実大試験体6体（シリーズI）と縮尺1/1.6のモデル試験体8体（シリーズII）であり、その諸元の一覧を表1に示す。試験体は、各シリーズとも接合部内のループ状のダボ筋をフープ状の拘束筋と直角方向の軸筋にて補強したHタイプ、接合部内でダボ筋とさし筋を添えて溶接したBタイプ、さらに、Hタイプでフープ状の拘束筋の拘束効果をさらに向上させ接合部の耐力を増加させることを目的として柱型を設けたCタイプの3種類とした。また、H、Cタイプでは、それぞれ接合部内のダボ筋の鉄筋量を2種類とした。ダボ筋の長さはシリーズIで12.0mm、シリーズIIで80mmとし、Bタイプの溶接長さは100mm、65mmとした。

図3に試験体の形状・寸法を、図4に各試験体の接合部内の配筋状況を示す。

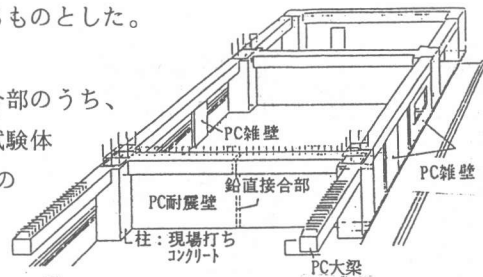


図1 PC耐震壁構法概要

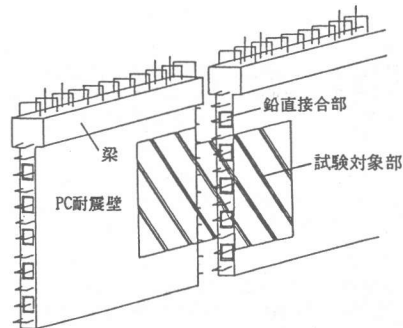


図2 鉛直接合部

\*1 日本国土開発(株)技術研究所構造研究室主任研究員、工修（正会員）  
 \*2 日本国土開発(株)技術研究所構造研究室室長、工修（正会員）  
 \*3 日本国土開発(株)エンジニアリング本部

## 2.3 加力方法

図5に加力方法を示す。実験開始前に試験体にPC鋼棒にて図中の治具を締結した後に、加力フレームに水平に設置された油圧ジャッキにより試験体に正負交番繰返しせん断力を加えた。

実験は、後述する建築学会の規準式(3)式より与えられる終局強度計算値 $Q_{Dv}$ を基準に、 $0.2Q_{Dv}$ ,  $0.4Q_{Dv}$ ,  $0.6Q_{Dv}$ ,  $0.8Q_{Dv}$ ,  $1.0Q_{Dv}$ 時の変位で各3回づつ繰返し載荷を行った。繰返しは、第1回サイクルで所定の荷重まで載荷し、第2, 3回サイクルでは、第1回サイクルと同一変位の繰返しとした。

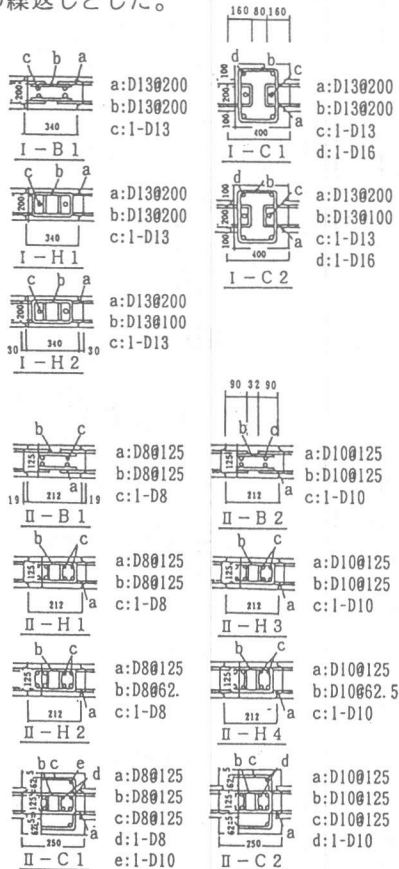


図3 試験体形状

表1 試験体一覧

No.	試験体名	鉄筋 (%)				Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	
		PC*		JOINT		PC	JOINT
		タテ筋P <sub>v</sub>	ヨコ筋P <sub>h</sub>	タテ筋P <sub>v</sub>	ヨコ筋P <sub>h</sub>		
実大試験体 (シリーズI)	1 I-B1	0.635	0.635	0.635	0.747	300	240
	2 I-H1	"	"	"	0.373	"	"
	3 I-H2	"	"	1.270	"	"	"
	4 I-C1	"	"	0.318	0.656	"	"
	5 I-C2	"	"	0.635	"	"	"
モデル試験体 (シリーズII)	1 II-B1	0.773	0.773	0.634	0.747	"	"
	2 II-H1	"	"	"	1.494	"	"
	3 II-H2	"	"	1.267	"	"	"
	4 II-C1	"	"	0.634	1.090	"	"
	5 II-B2	0.879	0.879	0.913	1.076	"	"
	6 II-H3	"	"	"	2.152	"	"
	7 II-H4	"	"	1.825	"	"	"
	8 II-C2	"	"	0.913	1.369	"	"

\*: シリーズIでは(1)~(5)ともPC部のタテヨコ筋D13@200が、シリーズIIでは(1)~(4)でD8D10@125が、(5)~(8)でD8D10@110が、

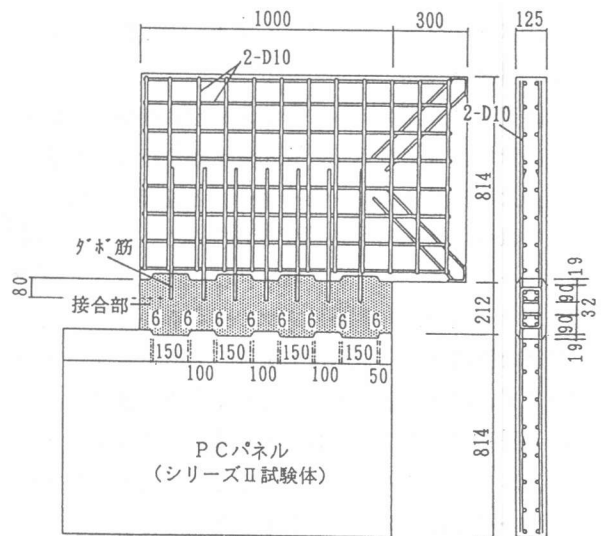


図4 接合部の断面形状

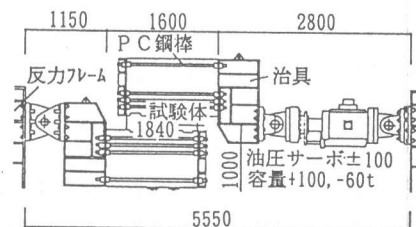


図5 加力方法

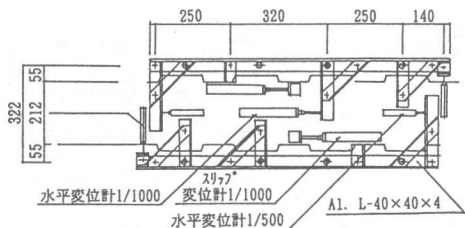


図6 変位測定方法

## 2.4 測定方法

接合部内の変位の測定は、図6に示す位置において行った。接合部内のダボ筋及びコンクリート表面の歪を測定した。

## 2.5 使用材料の性質

表2、表3にコンクリート強度試験結果、鉄筋の引張試験結果を示す。

## 3. 実験結果

### 3.1 実験結果の概要

表4に各試験体の剛性、ひびわれ強度、最大荷重の一覧を示す。図7に各試験体の最終破壊状況を、図8、図9に代表的な試験体の荷重・変位曲線を、図10にその包絡線を示す。

### 3.2 破壊性状

PC部と接合部とのコンクリートの打継面に生じた打継面ひびわれは、載荷当初から観測された初期ひびわれの影響もあり、表中では、実験値にかなりのばらつきが見られる。また、本研究では、

表2 コンクリート強度試験結果

No.	試験体	接合部		P C 部		
		Fc	Ec	Fc	Ec	
実大試験体 シリーズⅠ	1	I-B 1	156	1.19	352	2.35
	2	I-H 1	144	1.23	329	2.38
	3	I-H 2				
	4	I-C 1				
5	I-C 2					
モデル試験体 シリーズⅡ	1	Ⅱ-B 1	240	1.59	341	1.82
	2	Ⅱ-H 1				
	3	Ⅱ-H 2				
	4	Ⅱ-C 1				
	5	Ⅱ-B 2	222	1.92	314	2.30
	6	Ⅱ-H 3				
	7	Ⅱ-H 4				
	8	Ⅱ-C 2				

※ Fc(kg/cm<sup>2</sup>), Ec(×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>)

表3 鉄筋強度試験結果

	降伏応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	破断応力 (kg/cm <sup>2</sup> )
	$\sigma_y$	$\sigma_{max}$
D8	4343	6505
D10	3492	4619
D13	3320	4693
D16	3735	5218

表4 実験結果一覧

No.	試験体	加力方向	初期剛性 K(t/mm)	打継面 ひびわれ 発生荷重 Q <sub>jc</sub> (t)	せん断 ひびわれ(1) 発生荷重 Q <sub>sc1</sub> (t)	せん断 ひびわれ(2) 発生荷重 Q <sub>sc2</sub> (t)	最大荷重 Q <sub>u</sub> (t)
実大試験体 (シリーズⅠ)	1	I-B 1	103	—	24.2 25.2	40.4 34.0	87.2 (58.1)
	2	I-H 1	89	19.6 15.0	15.0	19.6	39.4 35.2
	3	I-H 2	112	19.6 10.0	19.6 15.1	20.4 19.6	47.2 45.2
	4	I-C 1	530	—	45.1 40.0	—	53.7 49.6
	5	I-C 2	486	—	45.2 30.0	—	54.2 53.7
モデル試験体 (シリーズⅡ)	1	Ⅱ-B 1	145	6.6 5.1	16.2 16.1	24.3 24.1	40.3 40.5
	2	Ⅱ-H 1	200	6.3 3.0	15.0 15.2	24.0 20.0	36.1 36.0
	3	Ⅱ-H 2	288	9.1 3.6	18.0 15.0	24.0 24.1	36.2 34.2
	4	Ⅱ-C 1	444	15.0 15.0	26.9 23.1	—	36.0 36.2
	5	Ⅱ-B 2	379	10.0 9.8	19.3 14.3	33.8 33.8	48.5 48.7
	6	Ⅱ-H 3	327	14.5 14.5	20.0 19.3	29.1 25.0	43.7 42.8
	7	Ⅱ-H 4	182	9.8 9.8	19.4 19.4	24.1 25.1	43.4 43.5
	8	Ⅱ-C 2	525	19.6 24.1	21.8 33.9	—	48.5 43.7

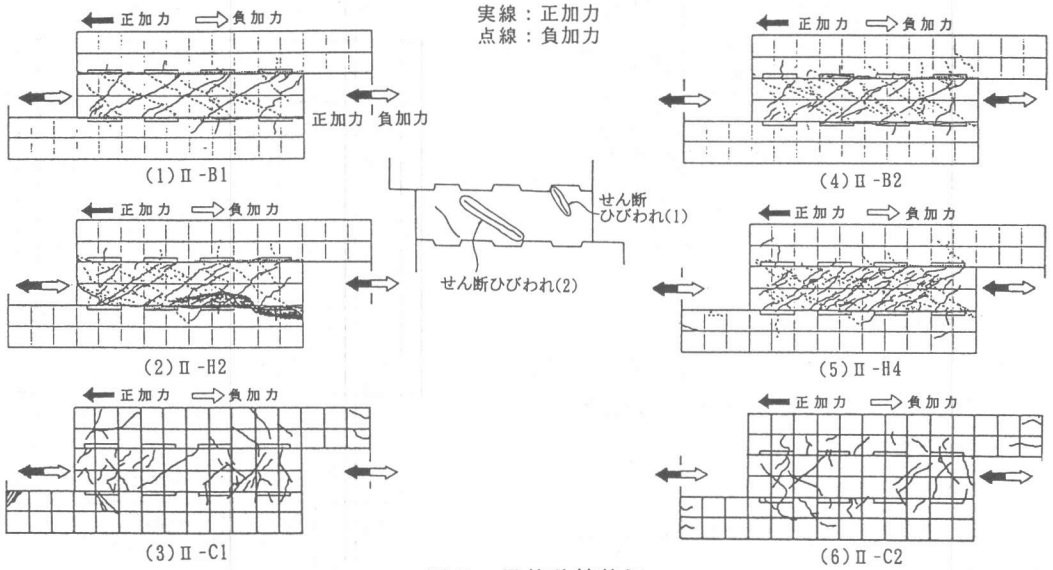


図7 最終破壊状況

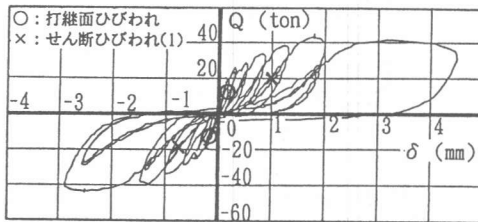


図8 荷重・変位曲線 (II-H4)

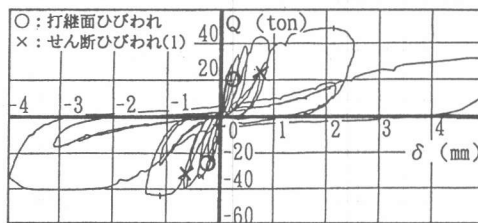


図9 荷重・変位曲線 (II-C2)

接合部に生じたせん断ひびわれをその発生位置から2種類に分けられる。すなわち、図7に示すように、接合部隅部のコッターより斜め方向にせん断ひびわれ(1)が発生した後に、接合部のほぼ中央部に斜め方向にせん断ひびわれ(2)が発生した。荷重・変位曲線にはその発生点を図示した。

試験体の最終破壊は中央部のせん断ひびわれの幅が広がり、接合部全体がせん断破壊した。

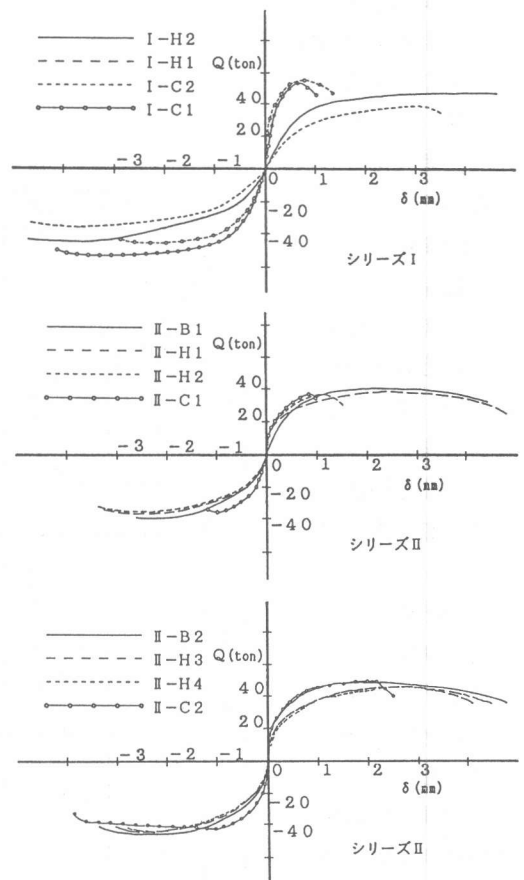


図10 包絡線

#### 4. 実験結果の検討

表5に剛性，ひびわれ強度，終局強度の実験値と計算値の比較を示す。

##### 4.1 剛性

接合部の剛性は図6の測定治具固定ボルト間隔をスパンとした極短部材として取り扱い、曲げ変形，せん断変形、コンクリート強度の差等を考慮して算定した。ダボ筋のダボ効果及び打継面でのせん断剛性の低下などは考慮していない。表5では、実験値はかなりばらついているが、B、Hタイプでは実/計=0.68(平均)で、実験値が計算値を下回っているが、Cタイプの試験体では、実/計=1.13(平均)となり、柱型の効果で、実験値が計算値を上回っている。

##### 4.2 せん断ひびわれ強度

接合部のひびわれ発生状況を考慮し、下図に示すようなひびわれ経路を仮定し、ひびわれ発生条件より接合部のせん断ひびわれ強度を(1)式より算出した。[1]

$$\tau_{cr1} = t \varrho_{cr} \sqrt{0.1F_c (0.1F_c + \sigma_o)} / A \quad \dots\dots\dots(1)$$

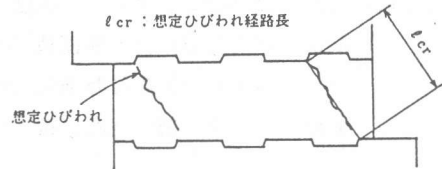
ここに、t : 接合部長さ (cm)

$\varrho_{cr}$  : 想定ひびわれ経路 (cm)

$F_c$  : 接合部コンクリート強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_o$  : 曲げモーメントによる接合部隅部に働く垂直応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

A : 試験体接合部断面積 (cm<sup>2</sup>)



また、せん断ひびわれ強度(2)をコッター効果と

ダボ筋のダボ効果の累加として考え、(2)式より算定した。[1]

表5 実験値と計算値の比較

No.	試験体	加力方向	初期剛性			せん断ひびわれ(1)			せん断ひびわれ(2)			最大荷重			
			実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計	
実大試験体 (シリーズI)	1	I-B1	+	103	265	0.39	10.1 10.5	8.5 8.2	1.19 1.22	16.8 14.2	15.1	1.11 0.94	36.3 (24.1)	23.8	1.53 (1.01)
	2	I-H1	+	89	"	0.34	6.3 6.3	7.0 7.0	0.90 0.90	8.2 6.3	14.7	0.56 0.43	16.4 14.7	23.3	0.70 0.63
	3	I-H2	+	112	"	0.42	8.2 6.3	7.6 7.0	1.08 0.90	8.5 8.2	"	0.58 0.56	19.7 18.8	"	0.85 0.81
	4	I-C1	+	530	429	1.24	18.8 16.7	15.8 15.2	1.19 1.10	-	-	-	22.4 20.7	"	0.96 0.89
	5	I-C2	+	486	"	1.13	18.8 12.5	15.8 14.0	1.19 0.89	-	-	-	22.6 22.4	"	0.97 0.96
モデル試験体 (シリーズII)	1	II-B1	+	145	265	0.55	13.0 12.9	10.2 10.2	1.27 1.26	24.3 24.1	25.3	0.96 0.95	32.2 32.4	35.7	0.90 0.91
	2	II-B1	+	200	"	0.75	12.0 12.2	9.9 10.0	1.21 1.22	24.0 20.2	"	0.95 0.80	28.9 28.8	"	0.81 0.81
	3	II-H1	+	288	"	1.09	14.4 12.0	10.5 9.9	1.37 1.21	24.0 24.1	"	0.95 0.95	29.0 27.4	"	0.81 0.77
	4	II-H2	+	444	441	1.01	21.5 18.5	19.2 18.4	1.12 1.01	-	-	-	28.8 29.0	"	0.81 0.81
	5	II-C1	+	379	324	1.17	15.4 11.6	10.2 9.3	1.51 1.25	33.8 29.1	26.9	1.26 1.08	38.8 35.0	38.6	1.01 0.91
	6	II-B2	+	327	"	1.01	16.0 15.4	10.4 10.2	1.54 1.51	29.1 25.0	"	1.08 0.93	35.0 34.2	"	0.91 0.87
	7	II-H3	+	182	"	0.56	15.5 15.5	10.2 10.2	1.52 1.52	24.1 25.0	"	0.90 0.93	34.7 34.8	"	0.90 0.90
	8	II-C2	+	525	543	0.97	17.4 27.1	17.1 19.6	1.02 1.38	-	-	-	38.8 35.0	"	1.01 0.91

\*せん断ひびわれ(1)、せん断ひびわれ(2)は図7に示したひびわれ発生荷重  
(単位) 初期剛性 [t/mm] , せん断ひびわれ(1),(2) [kg/cm<sup>2</sup>] , 最大荷重 [kg/cm<sup>2</sup>]

$$\tau_{cr2} = (0.1F_c A_{sc} + \tau_d \Sigma a_v) / A \dots \dots (2)$$

ここに、 $A_{sc}$  : コッター面積 (cm<sup>2</sup>)

$\tau_d$  : コッター筋のダボ効果 (kg/cm<sup>2</sup>)

$$\tau_d = \text{Min} (\sigma_y / \sqrt{3}, 0.4 \sqrt{E_c F_c})$$

$\sigma_y$  : コッター筋の材料強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\Sigma a_v$  : コッター筋総断面積 (cm<sup>2</sup>)

表5に示すように、せん断ひびわれ(1)及びせん断ひびわれ強度(2)の実験値と計算値は、実/計=1.21(平均)、0.88(平均)となり、比較的良好一致している。

### 4.3 終局強度

実験の最大荷重を学会規準式(3)式より算定した。[2]

$$\tau_{u1} = (0.1F_c A_{sc} + \sigma_y \Sigma a_v) / A \dots \dots (3)$$

ここに、 $F_c$  : 接合部コンクリート強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_{sc}$  : 接合部コッター断面積 (cm<sup>2</sup>)

$\sigma_y$  : コッター筋の材料強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\Sigma a_v$  : コッター筋の総断面積 (cm<sup>2</sup>)

また、望月が提案した壁式プレキャスト構造を対象とした鉛直接合部の終局強度算定式より算定した。[3]

$$Q_{u2} = 0.09 \cdot F_{vc} \cdot A_c + 1.48 \cdot a_c \cdot \sqrt{\sigma_{cy} \cdot F_{vc}}$$

$$+ \mu [C_c \cdot a_c \cdot \sigma_{cy} + C_b \cdot (a_b \cdot \sigma_{by} + a_s \cdot \sigma_{cy})] \dots \dots (4)$$

ここで、記号については文献[3]参照。

図11、図12に(3)、(4)式より算定した終局強度の計算値と実験値を既往の文献による実験値も合わせて示した。本研究による実験値は、(3)式よりも(4)式による計算値がよく一致している。

### 5. まとめ

PC耐震壁の鉛直接合部において、PC耐震壁からはね出したループ状のダボ筋と、フープ状の拘束筋をのみで溶接せずに接合する方法を用いても、溶接接合した場合とほぼ同程度の耐力を保持していることを確認した。また、鉛直接合部に、柱型を設けることにより接合部の耐力の上昇が見られたが、柱型内の補強筋の評価方法等をさらに検討することがある。

### 6. 参考文献

- [1] 磯健一・東洋一・遠藤利根穂・沼本学：R-PC耐震壁接合部のせん断挙動に関する研究、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、P.477~480、1981
- [2] プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工、日本建築学会、1986
- [3] 壁式プレキャスト構造の鉛直接合部の挙動と設計法、日本建築学会、1989

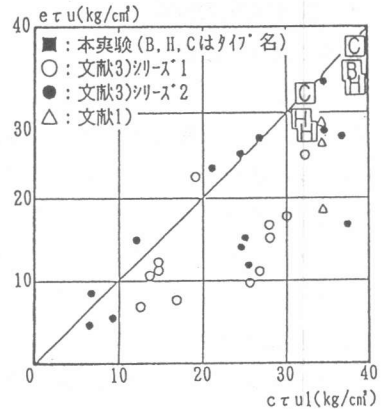


図11 実験値と学会式の比較

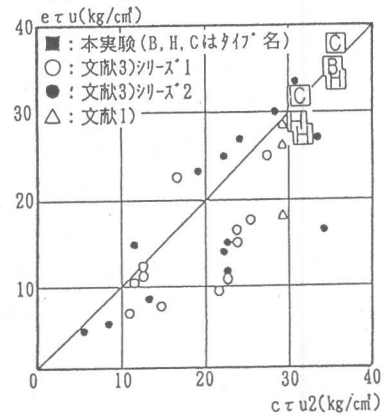


図12 実験値と望月式の比較