

論文

[2097] ハーフプレキャスト板を用いたRC耐震壁の力学的性状に関する実験研究

正会員 松崎 育弘 (東京理科大学建築学科)
 正会員○ 高橋 啓 (東京理科大学大学院)
 橋本 進 (清水建設原子力本部)
 関口 健治 (清水建設原子力本部)

1. はじめに

本研究は、大型構造物の耐震要素、例えば原子力関連施設あるいは大型倉庫等の厚壁を、型枠を兼用したハーフPCa部材を壁面側に配置し、その中空部をコンクリート打設することにより構築された場合の構造性能評価を、一体打ちの場合との比較を実験結果に基づき検討することを目的とする。ここではハーフPCa板を用いることにより、板相互の接合面で不連続が生じることが、応力の伝達、剛性低下等について一体打ちと同等化できるようにすることを目標に、面内せん断力の伝達をさせるためのシアコッターを接合面全周に設け、ハーフPCa板相互の接合部では後打ち部コンクリートを介して応力伝達を行うというものである。ハーフPCa板端部にシアコッターを設けることにより図1に示すような応力伝達を意図している。

実験は、ハーフPCa板のシアコッターの存在によるせん断伝達を知るための「面内せん断シリーズ」とそのような

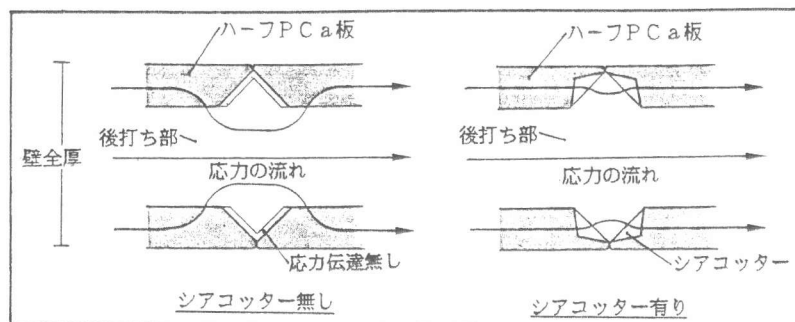


図1 応力の伝達状況

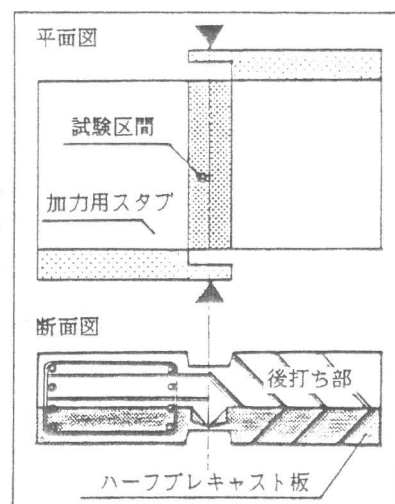


図2 試験体形状

表1 試験体一覧(面内せん断シリーズ)

試験体形状	ハーフPCa構法			一体打ちRC			ハーフPCa構法 後打ち部にスリット有り	S-7の後打ち部のみ
	後打ち部 シアコッター						スリット	スリット
試験体名	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8
pw (%)	0.44	0.79	0.62	0.44	0.62	0.69	0.44	0.69
全厚(mm) (PCa/全厚)	250 (0.36)		180 (0.50)	250	180	160	250 (0.36)	160

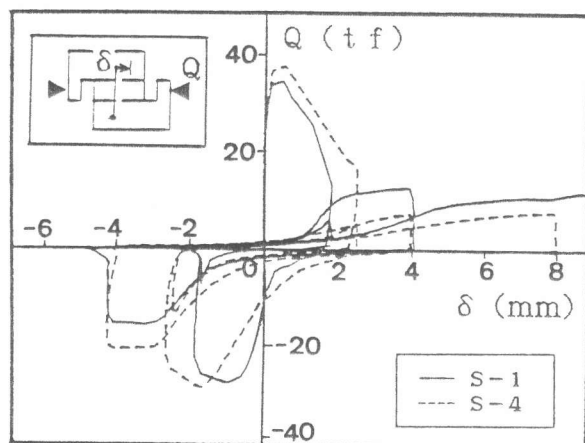


図3 Q-δ関係 (S-1, S-4)

P C a板を用いた耐震壁の構造特性を一体打ち耐震壁と比較検討するための「耐震壁シリーズ」の2シリーズを行なった。

2. 「面内せん断シリーズ」

2. 1 実験概要

(1) 試験体 表1に試験体一覧を、図2に試験体形状を示す。試験体は実大の1/3を想定し、中央に長さ512mm、幅160mmの接合部を有する試験区間に、加力用スタブ

をつけたものとし、8体計画した。変動要因は、P C a板厚比 (P C a板厚/全厚) 及びコッター筋比とし、ハーフP C a構法 (S-1～S-3) と一体打ちR C (S-4～S-6) との比較を行う。また、シアコッターの効果を究明するために、後打ち部コンクリートにスリットを設けた試験体 (S-7, S-8) も製作した。なお、シアコッター面には、グリースを塗布し後打ちコンクリート部との付着効果をなくした。

(2) 加力及び測定 加力方法は、改良S型加力装置を用いて、せん断力を正負交番に繰り返し載荷した。加力サイクルは、サイクル1+、1-で許容荷重レベル ($Q=12\text{tf}$) まで加力し、サイクル2+で最大耐力を確認した。以降のサイクルは、変形量で制御し、合計5サイクルを基本とした。測定は、荷重をロードセルにより、両壁板部の相対変形量を変位計により行った。

2. 2 実験結果及び検討

(1) 破壊性状及び変形性状 S-1～S-6における破壊進行状況は、最初に試験区間と加力スタブの境界線に沿ってひび割れが発生し、次に試験区間中央部付近で斜め方向に発生したせん断ひび割れが、両境界線まで伸展して最大耐力を迎えるというものであり、各試験体間に差は見られなかった。図3にせん断力 (Q) - 変形 (δ) 関係の一例 (S-1, S-4) を示す。最大耐力付近までの剛性は非常に高く、最大耐力を迎えると大変形を伴いながら急激に耐力を低下させていった。次サイクルでは荷重0 tf付近ですべった後、変形を伴いながらなだらかな勾配で徐々に耐力を上昇させていくが最大耐力よりかなり下回る値で頭打ちとなる逆S字型のスリップ性

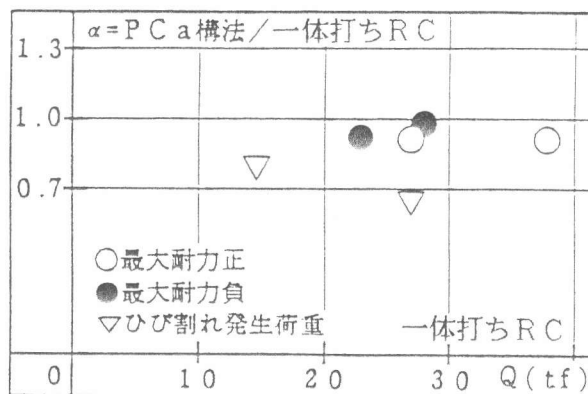


図4 諸耐力の比較

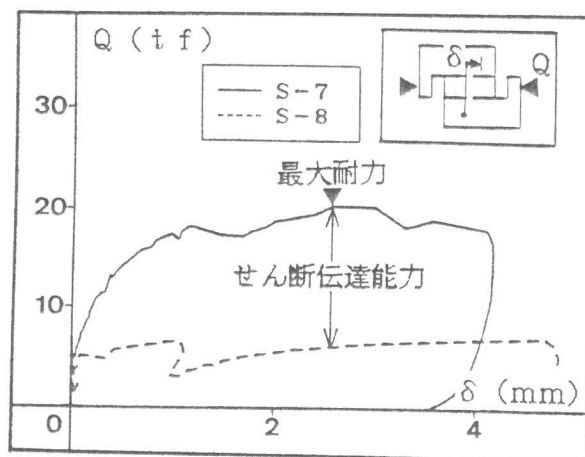


図5 Q-δ関係 (S-7, S-8)

状であった。図3に示すように $Q-\delta$ 関係において、ハーフPCa構法は一体打ちRCと同様な性状を示した。

(2) 諸耐力及びシアコッターのせん断伝達能力 図4に諸耐力の比較(S-1, 3とS-4, 5)を、図5に $Q-\delta$ 関係(S-7, S-8)を示す。初ひび割れ発生耐力についての比 α は約0.7であるが、最大耐力についての比 α は約1.0であり、PCa合成部材と一体打ちとは同等の最大耐力であると言える。また、図5に示すように、S-7とS-8との最大耐力の差より求めたシアコッターのみの最大耐力時のせん断伝達能力は、13.2tfであった。以上のことより、破壊性状、最大耐力、変形性状に関して、PCa合成部材は、一体打ちと同等な性状を示しており、ハーフPCa板端部のシアコッターが有効に働き、全断面において応力伝達が行われていると言える。

3 [耐震壁シリーズ]

3.1 実験概要

表2に試験体一覧を、図6に試験体形状及び共通要因を示す。ハーフPCa板は、[面内せん断シリーズ]で検証したハーフPCa板を用い、以下に示す2種類のハーフPCa耐震壁を4体計画し、一体打ち耐震壁と比較した。

①横筋のみ配筋したハーフPCa板を、壁両側に設置し、その中にコンクリートを打設。但し、後打ち部には縦筋のみ配筋。(W-1, W-3, W-4)

②縦横筋とも配筋したハーフPCa板を、壁両側に設置し、その中に無筋状態のコンクリートを打設。(W-5)

(1) 試験体 試験体は実大の約1/4を想定し、壁部900×900(mm)、壁厚200(mm)、壁筋比は縦・横方向とも $p_s=0.62(\%)$ 、PCa板厚(一体打ちを除く)40(mm)を共通要因とした。変動要因はPCa板及びPCa板分割の有無、タイバーの有無、配筋方法の相違とした。尚、PCa板の分割は、1枚板では運搬及び揚重が不可能な場合が想定されることから提案したものであり、

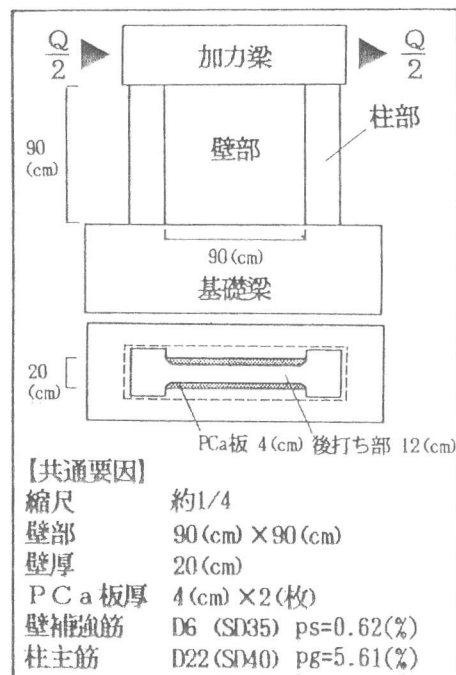


図6 試験体形状

表2 試験体一覧(耐震壁シリーズ)

試験体形状	PCa一枚板	一体打ち	PCa分割板	タイバー付 PCa分割板	背面コッター・タイバー付 PCa一枚板
試験体名	W-1	W-2	W-3	W-4	W-5
壁筋(横) (縦)	PCa部 後打ち部	後打ち部 後打ち部	PCa部 後打ち部	PCa部 後打ち部	PCa部 PCa部
cσB kgf/cm ²	366	303	314	313	387

表3 実験結果一覧

試験体	ひび割れ発生荷重		最大耐力	保有耐力算定式		耐特委式		称原・加藤モデル	
	Qmc(tf)	Qsc(tf)		c1Qu(tf)	eQu/c1Qu	c2Qu(tf)	eQu/c2Qu	c3Qu(tf)	eQu/c3Qu
W-1	27.1	72.0	187.5	144.9	1.29	110.0	1.70	187.5	1.00
W-2	26.0	94.6	181.6	131.7	1.38	103.0	1.76	178.2	1.02
W-3	27.0	99.7	175.9	134.1	1.31	104.2	1.69	180.1	0.98
W-4	27.0	99.0	182.9	133.8	1.37	104.1	1.76	180.0	1.02
W-5	27.0	87.2	194.9	149.3	1.31	112.2	1.74	189.9	1.03
Qmc:曲げひび割れ発生荷重 Qsc:せん断ひび割れ発生荷重 eQu:最大耐力 c1Qu:保有耐力式による最大耐力計算値 c2Qu:耐特委式による最大耐力計算値 c3Qu:称原・加藤モデルによる最大耐力計算値 ・保有耐力算定式 $c1Qsu = \left\{ \frac{0.0679 \cdot Pte^{0.23} \cdot (Fc + 180)}{\sqrt{M/QD + 0.12}} + 2.7 \cdot \sqrt{pwh \cdot \sigma wh + 0.1 \cdot \sigma o} \right\} \cdot be \cdot j$ ・耐特委式・終局点 $\tau 3 = \left\{ 1 - \frac{\tau s}{4.5 \cdot \sqrt{Fc}} \right\} \cdot \tau o + \tau s \quad (\tau s \leq 4.5 \cdot \sqrt{Fc})$ $\tau 3 = 4.5 \cdot \sqrt{Fc} \quad (\tau s > 4.5 \cdot \sqrt{Fc})$ $\tau 3 = 4.0 \times 10^{-3}$ $\tau s: (3 - 1.8 \cdot M/QD) \cdot \sqrt{Fc} \text{ 但し、} M/QD > 1 \text{ のとき } M/QD = 1$ $\tau o: \frac{(Pv + Ph) \cdot s \cdot \sigma y}{2} + \frac{\sigma v + \sigma h}{2}$ $c2Qu = \tau 3 \cdot As$ ・称原・加藤モデル トラス機構に用いられる壁横筋比を0から実際の壁横筋比まで漸次増加させ、トラス機構とアーチ機構の耐力和の最大値を終局強度とするマクロモデル As: 									

タイバーは、壁板の面外へのはらみ止めとして設けたものである。

(2) 加力及び測定 加力は、試験体の上部加力梁の左右に水平力を $Q/2$ ずつ加えることにより試験体にせん断力 Q を作用させ、3サイクルまでは荷重制御、以後9サイクルまでは変形制御とした正負交番繰返し載荷を行い、10サイクル正側で最大耐力を確認した。測定は、荷重をロードセル、変形を電気式変位計、柱主筋・壁補強筋・タイバーの歪をf.s.g.により行った。

3. 2 実験結果及び検討

(1) 破壊性状 図7に最終破壊状況を示す。各試験体とも柱脚部の曲げひび割れ→柱部の曲げひび割れ→壁板部の曲げせん断ひび割れ→壁板部のせん断ひび割れの順序に発生した点では差は見られなかったが、W-2(一体打ち)に比べP C a 複合耐震壁は対角線上のせん断ひび割れが分散して入る傾向がみられた。また、各試験体とも終局状態に至る直前まではほぼ同様な破壊性状を示し、各工法による差はほとんどみられなかった。最大耐力時に関しては、W-2(一体打ち)は、柱脚が圧壊を始め対角線上の1本のせん断ひび割れが大きく口開き、同ひび割れが圧縮柱脚部に抜けることにより最大耐力に至った。W-5(背面コッター・タイバー付P C a一枚板)は、P C a板の対角線上のせん断ひび割れが先に述べたように分散していたにも拘らず、W-2(一体打ち)と同様に対角線上の1本のせん断ひび割れが圧縮柱脚部に抜けることにより最大耐力が決まった。W-1(P C a一枚板)は、P C a板に分散して入っていたせん断ひび割れの内、数本が口開くことにより最大耐力に至った。W-3(P C a分割板)及びW-4(タイバー付P C a分割板)はともに、P C a板接合部の中央でずれを生じP C a板の上下のせん断ひび割れにつながり、圧縮柱脚及び引張柱頭部に抜けることにより最大耐力に至った。

次に、P C a板と後打ち部コンクリートの一体性についてタイバーの挙動と共にみると、W-5についてはP C a板のはらみ出しは殆ど見られず、W-4においては最大耐力時にはらみ出しが見みられた。図8にタイバーのひずみ度分布(W-4)を示す。しかしそのひずみは、壁板圧

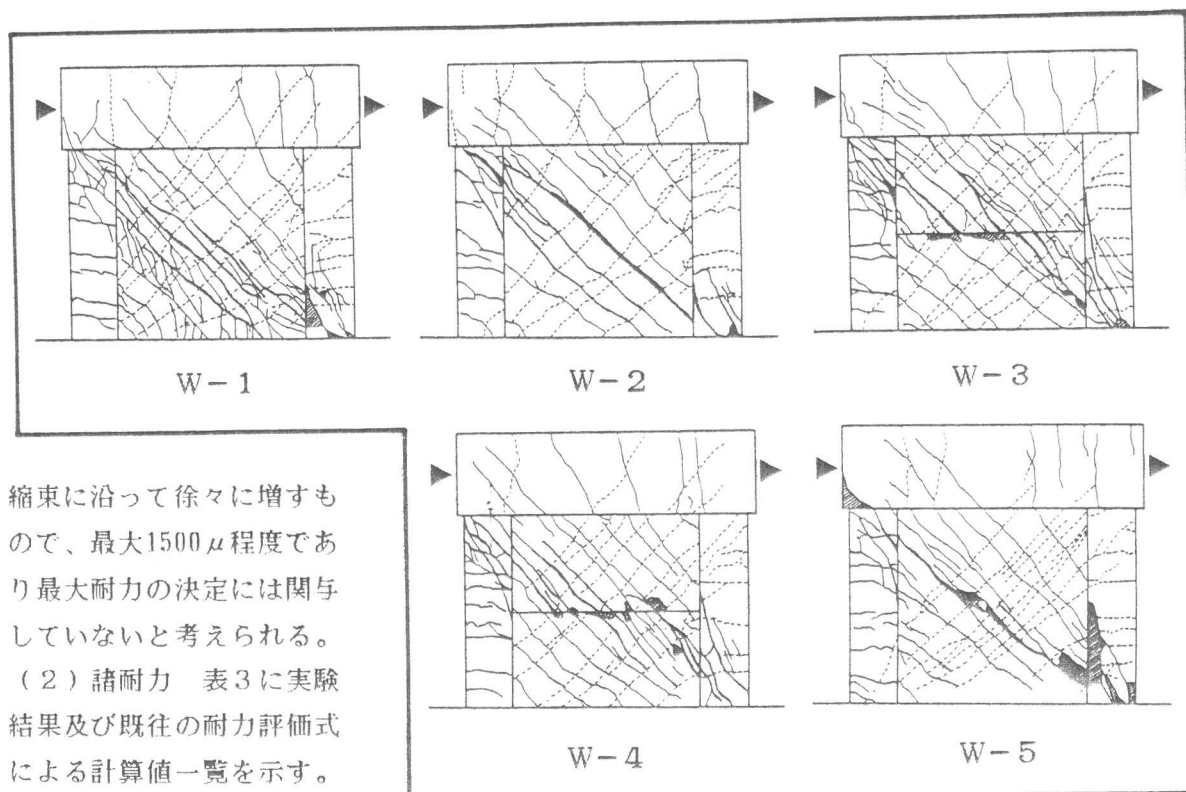


図7 最終破壊状況

縮束に沿って徐々に増すもので、最大 1500μ 程度であり最大耐力の決定には関与していないと考えられる。

(2) 諸耐力 表3に実験結果及び既往の耐力評価式による計算値一覧を示す。

W-1のせん断ひび割れ発生荷重が他の試験体に比べ

若干低い、曲げひび割れ発生荷重及びせん断ひび割れ発生荷重は、各試験体とも同等であった。また、最大耐力もW-2に対する比率で $0.97\sim 1.07$ の値を示し各構法による差はみられなかった。

次に、各試験体の最大耐力を①保有耐力算定式[1]、②耐特委式[2]、③称原・加藤らによるモデル[3]により評価を試みる。尚、コンクリート強度は、PCA部後打ち部それぞれの $c\sigma_B$ を断面積比で累加した、等価断面積比コンクリート強度 $c\sigma_B$ を用いた。①、②の算定式において、実験値は計算値に対して1.2倍以上となっており、十分安全側に評価し得た。また、③における実験値は計算値に対する比較で $0.98\sim 1.03$ と非常に良い対応を示した。以上のことより、本実験におけるハーフPCA耐震壁の最大耐力は、全壁厚有効として評価できるものと考えられる。

(3) 変形状態 図9にせん断力(Q)—頂部変形(δT)包絡線を示す。図9に示すように正・負載荷時とも、弾性剛性で見なし得る領域及びPCA板にひび割れが生じ剛性を徐々に低下させていく領域において、一体打ち耐震壁との差はみられなかった。次に、 $Q-\delta T$ 包絡線において、曲げ変形(δM)及びせん断変形(δDS)を分離することを試みる。図10に変形成分の分離の一例(W-4)を示す。ここで、曲げ変形(δM)は、柱の伸縮変形から測定区間の平均曲率を算定し求めたものであり、せん断変形(δDS)は、壁板の対角変位より算出した γ に、試験区間長さ

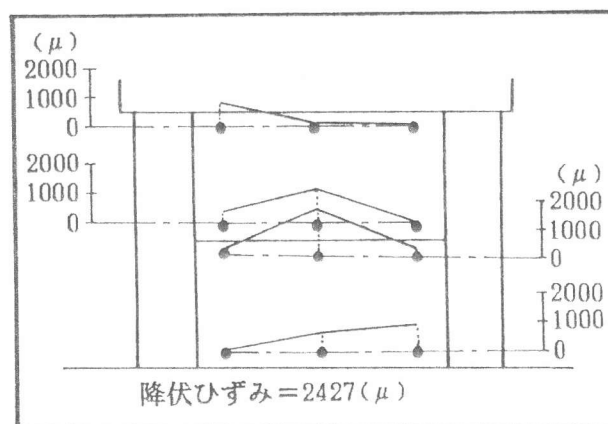


図8 タイバーのひずみ分布(W-4)

(90cm) を乗じて求めたものである。同せん断力において、 δM と δDS を累加したものは、 δT とほぼ等しくなり、変形成分の分離を行えた。図11にせん断応力度(τ)—曲げ変形部材角(RM)関係を、図12に τ —せん断変形角(γ)関係を示す。各試験体とも同様な τ —RM及び τ — γ 関係を示しながら変形することが明らかになった。また、図12中の×印は、先に述べた耐特委式の τ — γ モデルであり、第一、第二折れ点及び終局点

からなっている。この図から、初期サイクルにおけるせん断剛性については良い対応を、終局点については耐力及び変形共に安全側に評価し得ることがわかる。以上のことより、弾性剛性、最大耐力付近までの変形性状は、一体打ちと同等であり、PCa板周辺及び接合部に設けられたシアコッターが有効に働き、全断面での応力伝達が行われていると考えられる。

4. まとめ

- ・板周辺にシアコッターを設けたハーフPCa板は、接合部における不連続が生じて、シアコッターを通して応力伝達を行い、剛性、耐力とも一体打ちのものとはほぼ同等の性能を発揮することができる。
- ・本ハーフPCa耐震壁は、正・負荷荷時とも、ハーフPCa耐震壁の最大耐力、剛性及び変形性状は一体打ち耐震壁と同等であり、PCa板厚を含めた全厚で評価可能である。

〔謝辞〕 本研究をまとめるにあたり御指導・御協力頂いた東京工業大学林静雄助教授、同助手 香取慶一氏、東京理科大学松崎研究室助手 中野克彦氏、並びに同平成2年度卒研究生 岡西努君深く感謝します。

参考文献

- 1) 広沢雅也：建築研究資料NO.6 March 1975
“既往の鉄筋コンクリート耐震壁に関する実験資料とその解析”
- 2) 稲田泰夫：清水建設研究報告別冊 第27号 1989.11
“原子炉建屋に用いられる鉄筋コンクリート造立体耐震壁の地震時復元力特性に関する研究”
- 3) コンクリート工学協会：論文集 January 1988
“RC耐震壁のマクロモデルのFEMミクロモデルに関するパネディスカッション—研究の現状と問題点—”

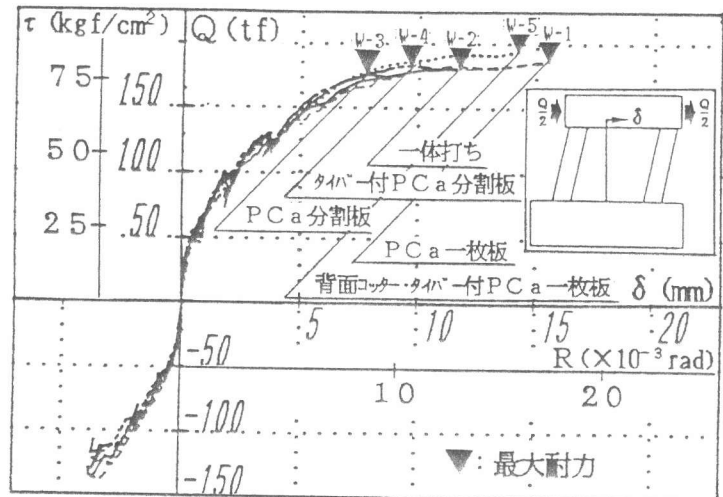


図9 Q— δT 包絡線

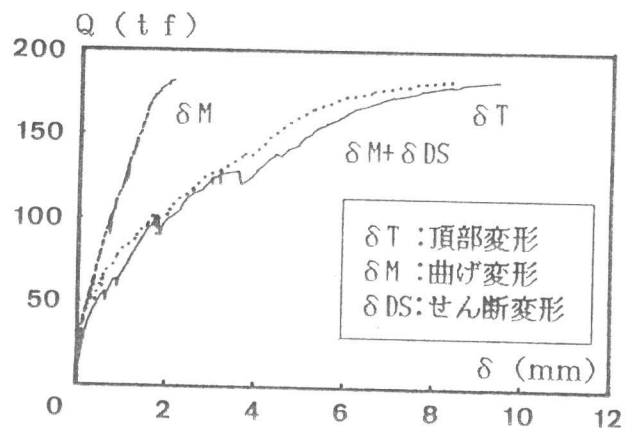


図10 変形成成分の分離 (W-4)

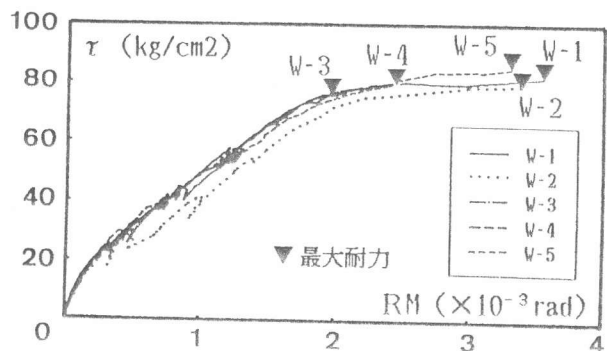


図11 τ —RM関係

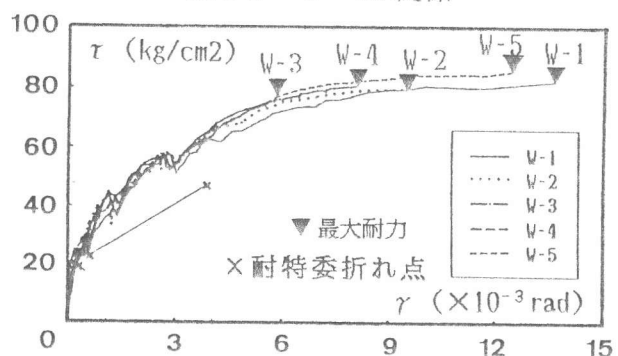


図12 τ — γ 関係