

# 地中壁と後打ち壁からなる合成壁の設計法に関する研究（その1）

——面外曲げせん断実験による構造性能の検討——

古 屋 則 之      小 畠 克 朗  
武 田 寿 一

## Study of Design Method on RC-RC Composite Walls Made of Underground Diaphragm Walls and Inner Walls (Part 1)

——Examination on Structural Behaviors of Composite Walls Based on  
Shear-Bending Tests Simulating Earth Pressure and Water Pressure——

Noriyuki Furuya      Yoshiro Kobatake  
Toshikazu Takeda

### Abstract

In construction of an underground substation of ultra-high voltage, it was aimed for economy by using underground diaphragm walls not only as temporary walls, but also as structural walls by using in the form of composite walls together with inner walls. This report describes the structural behaviors of the composite wall obtained by experiments on composite walls subjected to shear and bending loads simulating earth pressure and water pressure. As a result, it was found that the structural behavior of a composite wall jointed over the entire surface was equal to a monolithic wall, and it might be possible to design a composite wall even if two walls are only partially jointed.

### 概 要

この研究は、地中連続壁を仮設の山止め壁として利用するだけでなく、地中連続壁の内面に後打ち壁を打継いで合成壁を構築して地下外壁と外周支持杭とを兼ねる本体構造としても利用することにより、超高圧地下変電所建家建設時のコストダウンを計ることを目的としたものである。この報告は合成壁の土圧および水圧に対する面外方向の構造性能を把握するために、実際の現場を模擬して製作した壁を用いた合成壁の曲げせん断実験を実施し、打継ぎ方法や軸力による影響などについて検討したものである。実験結果から、ウォータージェットによって洗浄処理して全面を打継いだ場合は、一体壁と同等の構造性能が得られることや、部分的に打継いだ場合は、打継ぎ部分の適切な補強によって合成壁としての設計も可能であることを示唆するような貴重な資料が得られた。

### 1. 序

この研究は、超高圧地下変電所建設時に仮設山止め壁として用いる地中連続壁（以下、地中壁と称す）を本体構造として積極的に利用することにより、建家のコストダウンを計ることを目的としたものである。

地下外壁を設計する場合の外力としては土圧および水圧による面外力と、地震時に想定される面内力の両者があるが、超高圧地下変電所の場合は設置される機器類が大きく、一般の建築物の地下階に比べて階高が高くなる

ために、これらの外力のうち、設計上、支配的となるのは前者の面外力である。この面外力に対しては地下外壁を一方向（深さ方向）の連続板として設計することになる。従来の設計では、地中壁には山止め壁として仮設時土圧および水圧を支持させ、地中壁の内側に接して設けた鉄筋コンクリート造の柱、間柱、大梁、胴梁などで構成される格子梁状の外壁に長期の土圧および水圧と地震応力を負担させている（図—1 参照）。

地中壁の本体利用案としては、①地中壁をそのまま本体壁として用いる、②地中壁の内側に後打ち壁を打継い

で合成壁として用いる (図-1 参照), などが考えられる。①案については, 壁厚 2 m 前後の地中壁を地下数十 m にわたって精度よく構築し, また, 地中壁相互の鉛直接合部における止水性を確保しなければならないなど, 施工技術面で解決しなければならない点があり, 早期実現性にはやや難があるが, ②案については打継ぎ面でのせん断伝達設計が可能となれば現状の技術でも十分実現可能な案である。

この報告は, 上記合成壁の設計方法を検討する一環として, 土圧および水圧 (面外方向) に対する構造性能を把握することを目的として行なった, はり型試験体による加力実験の概要とその実験結果について述べたものである。

## 2. 実験概要

### 2.1. 実験計画

合成壁の打継ぎ形式は, 全面を打継ぐ場合と部分的に打継ぐ場合の 2 ケースとし, 打継ぎ面はウォータージェットで洗浄することを前提として計画を立案した。

### 2.2. 試験体形状

試験体は, 幅 50 cm, 厚さ 60 cm, 長さ 2 m 50 cm の矩形断面をしたはり型試験体で, 壁厚の中央を打継ぎ面とした。打継ぎ部の接合用には異形鉄筋 (以下, 接合鉄筋) を用い, その定着長を  $20d$  以上とし, フック付き, または折り曲げてあばら筋の形式で挿入した。図-2 に部分打継ぎ試験体の配筋例を示す。部分打継ぎ試験体は中央の 30 cm の区間と両端部 20 cm の区間を打継ぎ部分とした。

### 2.3. 実験パラメーターと試験体の種類

実験パラメーターは, (a)接合鉄筋の有無とその量, (b)接合鉄筋の配置形式 (分散配置と集中配置), (c)打継ぎ形式 (全面打継ぎと部分打継ぎ), (d)地中壁部分に作用する軸力の有無, (e)軸方向鉄筋の配筋形式 (単筋と複筋) の 5 項目とした。

試験体の種類を, (1)打継ぎ面の接合方法の違い (上記パラメーターの a, b, c), (2)外力の加え方の違い (同 d), (3)軸方向鉄筋の配筋形式の違い (同 e) 別に図-3 に示し, それぞれの特徴を以下に述べる。

#### (1) 打継ぎ面の接合方法の違い

● 一体打ち (M) …… 合成効果を検討するための比較用の試験体であり, 接合鉄筋に相当する鉄筋はない。

● 全面打継ぎ (CO, CD, CC) …… 全面を打継いだ試験体であり, 接合鉄筋がない無補強試験体 (CO), 接合鉄筋を分散配置した試験体 (CD), 端部に集中配置した試験体 (CC) があり, 打継ぎだけによる合成効果や, 接合鉄筋の配置形式による補強効果の違いをみるためのもの

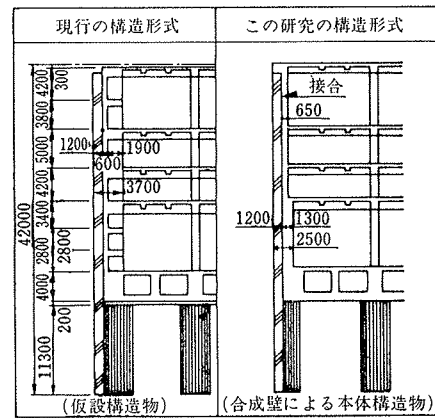


図-1 地中壁の本体利用案

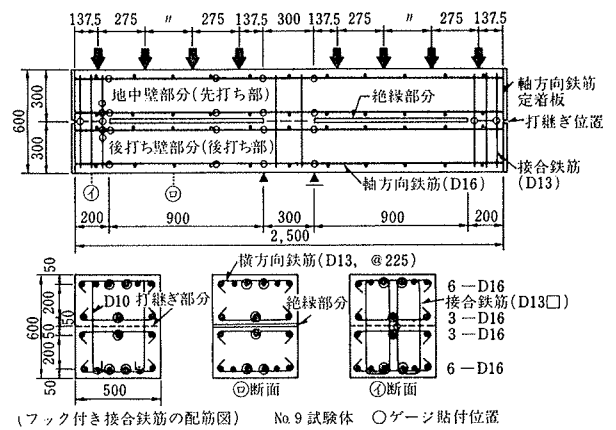
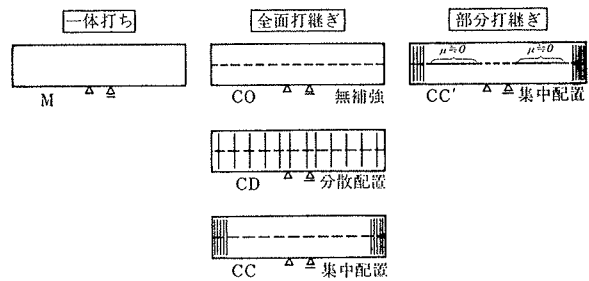
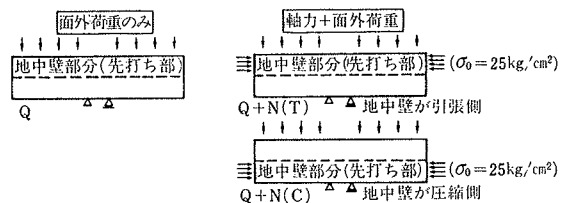


図-2 試験体の形状・寸法

#### (1) 打継ぎ面の接合方法の違い



#### (2) 外力の加え方の違い



#### (3) 軸方向鉄筋の配筋形式の違い

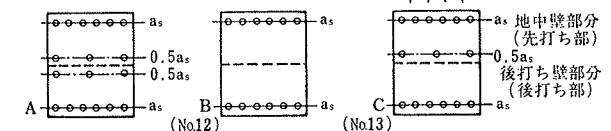


図-3 試験体の種類

である。

●部分打継ぎ(CC')……地中壁部分と後打ち壁部分とを部分的に打継ぎ、それ以外では両者の間の摩擦係数( $\mu$ )を極端に小さくしたものである。これは実際の施工において、地中壁面を部分的に洗浄してその部分だけで打継ぐ方法を採用することができるかどうかの判断資料を得ることを目的としたものである。

(2) 外力の加え方の違い

●面外荷重のみ(Q)……土圧および水圧を模擬した面外方向の等分布荷重を地中壁側から加えるものであり、大部分の試験体はこの荷重形式である。

●軸力+面外荷重〔Q+N(T), Q+N(C)〕……地中壁は壁体杭として軸力も負担していることから、その影響を検討するために、地中壁部分に一定の軸力(杭の長期許容支持応力度に等しい25 kg/cm<sup>2</sup>)を与えたまま面外荷重を加えるものである。面外荷重の加力方向は、荷重による曲げモーメントによって地中壁部分が引張側となる場合〔Q+N(T)〕と、圧縮側となる場合〔Q+N(C)〕の2方向がある。

(3) 軸方向鉄筋の配筋形式の違い

●タイプA……軸方向鉄筋の基本とした配筋形式であり、引張縁と圧縮縁には等量を、打継ぎ面付近ではその1/2を配筋したものである。

●タイプB……打継ぎ面付近の軸方向鉄筋の働きをみるために、軸方向鉄筋を除いたものである。

●タイプC……目的はタイプBと同じであり、この場

合は打継ぎ面付近の軸方向鉄筋のうち、後打ち壁部分の鉄筋を除いたものである。

試験体は合計19体で、表一1に一覧を示す。No. 1~No. 9試験体は、打継ぎを設けない場合には曲げ破壊が先行することを意図したもの(以下、曲げ破壊先行型と称す)であり、最外縁の軸方向鉄筋のみを考慮した引張鉄筋比  $P_t$  は0.434% (D16使用)である。同様にNo.10~No. 19はせん断破壊が先行することを意図したもの(以下、せん断破壊先行型と称す)であり、 $P_t$  は1.11% (D25使用)である。接合鉄筋比  $P_s$  は分散配置、集中配置ともに、中央の純曲げ区間を除く打継ぎ面積に対する接合鉄筋全断面積の比で表した。

2.4. 試験体の製作と使用材料

地中壁部分の製作時には、実際の

壁面を模擬するために底型枠の上に砂利、土を敷いて泥水を散布し、形成された泥水膜が乾燥しないうちにコンクリートを打設した。後打ち壁部分の製作時には、打継ぎ面に付着している土、泥分や脆弱なモルタル層などを水圧150 kg/cm<sup>2</sup>のウォータージェットで洗浄し、打継ぎ面を鉛直方向にしてコンクリートを打設した。なお、部分打継ぎの場合は、打継ぎ面以外を平滑面とし、厚さ0.05 mmのステンレスプレート2枚の間にグリースを塗付したものをその面に貼付(図一2参照)して後打ちコンクリートを打設した。また、地中壁部分に軸力を導入する試験体の場合はあらかじめ埋設したアンボンドPC鋼棒(2-17 $\phi$ )を緊張して25 kg/cm<sup>2</sup>相当の軸力を作用させたまま後打ちコンクリートを打設した。

材料試験結果を表一2、表一3に示す。

2.5. 実験方法

実験は、試験体中央2箇所を一方をピン、他方をローラー支持とし、両側のはね出し部分の4等分点から面外方向に等荷重を加える方式(図一2参照)で行なった。反力点を単純ばり形式のように両端に設けなかったのは、打継ぎ面両端部にすべりが生じた場合に集中反力による面圧のためにすべりが拘束されることを避けるためである。加力は一方向の漸増繰り返し載荷とし、軸力を導入した試験体については軸力を一定に保持しながら加力した。

試験体	軸方向鉄筋の引張鉄筋比 (%)																		
	0.434									1.11									
	打継ぎ方法	M	CO	CC	CC'	M	CO	CD	CC	M	CO	CD	CC	M	CO	CD	CC		
接合鉄筋比 (%)	—	—	0.104(相当)	—	0.104	0.181	0.277	—	—	—	—	0.104	0.571	1.20	0.104(相当)	—	—	—	
荷重組合せ	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	
軸方向鉄筋の配筋形式	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	A	A	
試験体番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
比較検討項目	(1)打継ぎの有無による比較 (2)接合鉄筋量の大小による比較 (3)接合鉄筋の配置形式による比較 (4)打継ぎ形式の違いによる比較 (5)先行軸力の有無と曲げ方向の違いによる比較 (6)軸方向鉄筋の配筋形式(単筋と複筋)による比較																		
破壊モード (図一4参照)	B.F1	B.F1	B.F1	B.F1	B.F1	B.F2	B.F2	B.F2	B.F2	S.F	S.F	B.F1	S.F	B.F1	B.F1	B.F1	S.F	S.F	S.F

表一1 試験体の一覧

呼び径	弾性係数 $E_s$ (X10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	降伏強度 $\sigma_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	使用部位と対象試験体
D10	1.93	3,870	5,620	接合鉄筋 (No3~5, 7, 8, 14, 15, 17~19)
D13	1.89	3,650	5,380	接合鉄筋 (No9, 16) 軸方向鉄筋 (全試験体)
D16	1.94	3,590	5,350	軸方向鉄筋 (No1~9)
D25	1.90	3,440	5,290	軸方向鉄筋 (No10~19)

表一2 鉄筋の材料試験結果

対象試験体	圧縮強度 $F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )		弾性係数 $E_c$ (X10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )		割裂強度 $F_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
	地中壁	後打ち壁	地中壁	後打ち壁	地中壁	後打ち壁
No. 1	339		2.83		25.3	
No. 2, 3	339	302	2.83	2.51	25.3	27.3
No. 4, 5		335		2.61		25.3
No. 6~9	347	338	2.51	2.46	27.6	28.8
No.10	330		2.32		23.7	
No.11~16	330	324	2.32	2.55	23.7	22.8
No.17~19	301	326	2.32	2.50	20.4	19.1

表一3 コンクリートの材料試験結果

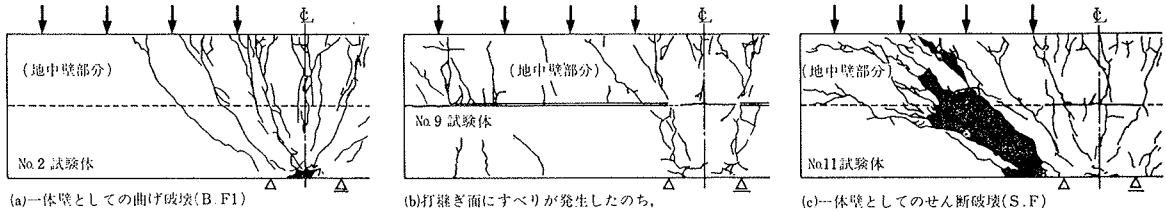


図-4 破壊モード

### 3. 実験結果および検討

#### 3.1. 破壊状況

破壊モードの代表例を図-4に示し、各試験体の破壊モードを表-1に記す。

(1) 一体打ち試験体の No. 1 と No. 10 は、曲げによって引張側最外縁の軸方向鉄筋が降伏した後、前者は同図(a)のような曲げ破壊を、後者は同図(c)のようなせん断破壊をした。

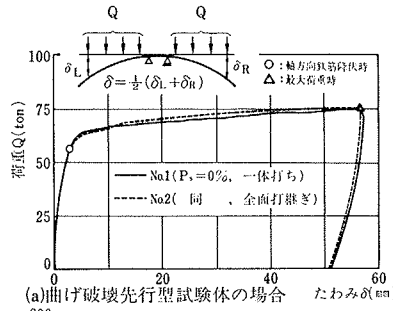
(2) 全面打継ぎ試験体は、接合鉄筋がなくても一体打ち試験体と同様の破壊経過をたどり、打継ぎ面でのすべりはなく、同図(a), (c)のような一体壁としての曲げ破壊、あるいはせん断破壊をした。曲げ破壊したのは、引張鉄筋比  $P_t = 0.434\%$  の No. 2~No. 5 と  $P_t = 1.11\%$  で接合鉄筋を分散配置した No. 14~No. 16 および単筋配筋の No. 12 である。また、せん断破壊したのは、 $P_t = 1.11\%$  で接合鉄筋のない No. 11, No. 13 および集中配置した No. 17~No. 19 である。

(3) 部分打継ぎ試験体の4体は、壁体間の付着を切った面が加力当初からすべり始め、そのために二枚の壁と打継ぎ部分から構成される矩形ラーメンとして挙動し、打継ぎ面もすべりが生じて、反力点上で後打ち壁および地中壁部分の引張側軸方向鉄筋が降伏した後、同図(b)のような個々の部材としての曲げ破壊をした。

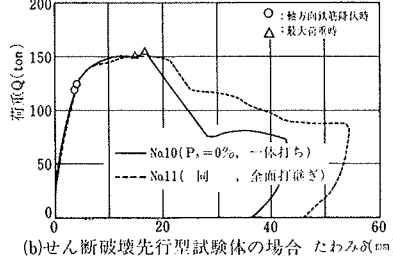
#### 3.2. 荷重～たわみ関係

図-5～図-9に示す各試験体の荷重～たわみ関係包絡線によって、パラメーターの違いによる比較を行なう。

荷重  $Q$  は、試験体片側の4等分荷重の総計である。た



(a) 曲げ破壊先行型試験体の場合



(b) せん断破壊先行型試験体の場合

図-5 打継ぎの有無による比較

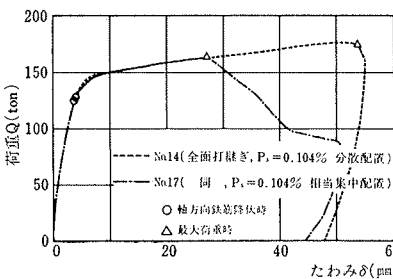


図-7 接合鉄筋配置形式の違いによる比較

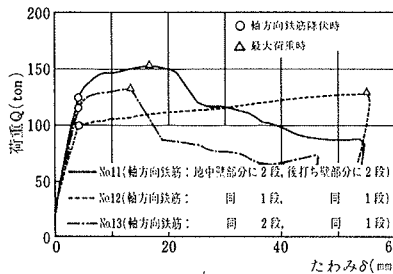
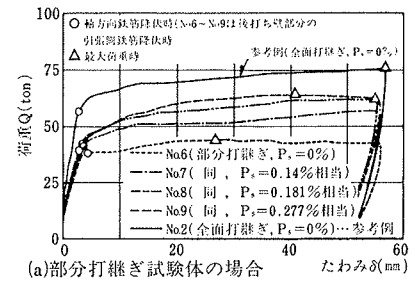
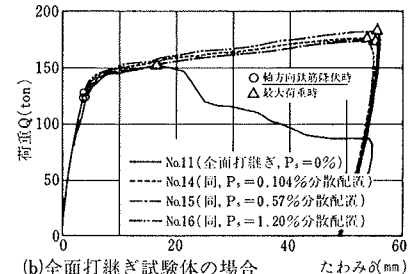


図-9 軸方向鉄筋配筋形式の違いによる比較

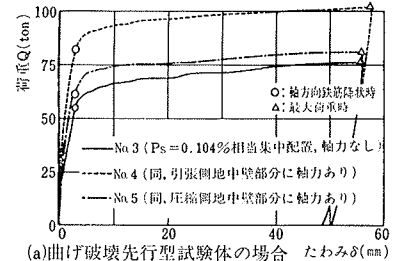


(a) 部分打継ぎ試験体の場合

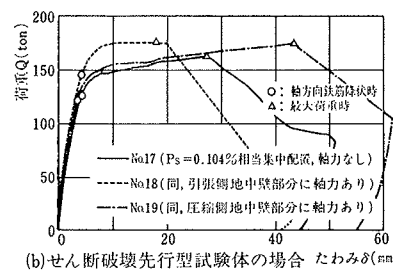


(b) 全面打継ぎ試験体の場合

図-6 接合鉄筋量の違いによる比較



(a) 曲げ破壊先行型試験体の場合



(b) せん断破壊先行型試験体の場合

図-8 先行軸力の有無と曲げ方向の違いによる比較

わみ  $\delta$  は、最外端の加力点位置と試験体中央との間の相対たわみである。

3.2.1. 打継ぎの有無による比較 図-5は、接合鉄筋のない全面打継ぎ試験体と一体打ち試験体とを比較したものである。曲げ破壊先行型の場合を同図(a)に、せん

断破壊先行型の場合を同図(b)に示した。どちらの破壊型であっても、全面打継ぎ試験体と一体打ち試験体との包絡線はほとんど同じであり、打継ぎの有無による違いは認められない。

3.2.2. 接合鉄筋の有無とその量による比較 図—6は接合鉄筋比  $P_s$  による違いを比較したものである。部分打継ぎの場合を同図(a)に、全面打継ぎの場合を同図(b)に示した。

部分打継ぎの場合は、軸方向鉄筋が降伏するまでは荷重～たわみ関係に顕著な差がなく、その後は  $P_s$  が大きい試験体ほど荷重増分が大きかった。また、これらの試験体は矩形ラーメンとして挙動するために、同図に併記した全面打継ぎ試験体 (No. 2) に比べると剛性や耐力が小さかった。

全面打継ぎの場合は、接合鉄筋のない No. 11 は曲げ降伏後にせん断破壊したが、接合鉄筋を分散配置した3体はいずれも曲げ破壊型となり、接合鉄筋がせん断補強筋として寄与したものと考えられる。ただし、 $P_s = 0.104\%$  の No. 14 については、最大荷重時に一部にせん断破壊の徴候が現われ、せん断耐力にほぼ達していたようである。

3.2.3. 接合鉄筋の配置形式の違いによる比較 図—7は、全面打継ぎで、同量の接合鉄筋 ( $P_s = 0.104\%$ ) を分散配置した場合と、両端に集中配置した場合の違いを比較したものである。

軸方向鉄筋が曲げ降伏した後、前者は曲げ破壊し、後者はせん断破壊した。同量の接合鉄筋であっても、後者はせん断破壊の領域に接合鉄筋がないために、接合鉄筋のせん断補強効果が現われなかったものと考えられる。

3.2.4. 軸力の有無と曲げ方向の違いによる比較 図—8は、地中壁部分の軸力 ( $25 \text{ kg/cm}^2$ ) の有無と、軸力部分が曲げに対して引張側、あるいは圧縮側となる場合の違いを比較したものである。同図(a)は曲げ破壊先行型、同図(b)はせん断破壊先行型の場合を示す。

曲げ破壊先行型の場合は、断面の計算曲げ強度に応じて耐力が高くなり、軸力部分が引張側にくる場合が最も高くなった。せん断破壊先行型の場合も同様な傾向であるが、破壊時のたわみは、軸力部分が圧縮側にくる場合は軸力のない場合よりも大きく、引張側にくる場合はその逆となった。いずれの場合も一体壁として挙動し、軸力が打継ぎ部に与える影響はなかった。

3.2.5. 軸方向鉄筋の配置形式の違いによる比較 図—9は、全面打継ぎで、地中壁部分と後打ち壁部分のそれぞれの軸方向鉄筋を複筋あるいは単筋とした場合の違いを比較したものである。

総配筋段数が減少するにつれて断面の計算曲げ強度が

小さくなるために、軸方向鉄筋が最も少ない No. 12 が曲げ破壊し、他がせん断破壊したが、いずれの試験体も一体壁として挙動し、配筋方法の違いが打継ぎ部に与える影響はなかった。

### 3.3. 荷重～すべり関係

部分打継ぎ試験体の打継ぎ面でのすべり  $\delta_s$  と荷重  $Q$  との関係を図—10に示す。

初すべり発生時の荷重はほぼ一定である ( $Q = 23 \sim 24 \text{ ton}$ ) が、その後のすべり量は接合鉄筋が増大するにしがって小さくなった。また、それに伴って壁体の耐力が大きくなったが、これは、接合鉄筋の増加に伴って打継ぎ部の固定度が増し、矩形ラーメンとしての材端での負担曲げモーメントが増大したためと考えられる。

### 3.4. 初期剛性と諸強度

表—4と図—11に各試験体の初期剛性と諸強度を計算値と比較して示す。計算値はすべて一体壁として求めた値である。

3.4.1. 初期剛性 実験値はひびわれ発生前の荷重～たわみ関係の 10 ton 時 (部分打継ぎ試験体は 5 ton 時) の割線剛性である。計算値は曲げとせん断を考慮した弾性剛性である。

全面打継ぎ試験体の実験値は、パラメーターの違いにかかわらずほぼ一定である。計算値に対する比は 0.90～1.18 であり、一体と仮定した計算値と良く一致した。一体打ち試験体の実験値と計算値との対応も同様である。

部分打継ぎ試験体 (No. 6～No. 9) については、実験値が一体と仮定した計算値に対して 0.70～0.80 と低い。これは、壁体間の付着を切った面が加力当初から相互にすべっており、一体壁としてではなく、矩形ラーメンとして挙動しているためであり、接合鉄筋量の違いによる初期剛性への影響は認められない。

3.4.2. 曲げひびわれ強度 実験値は引張側最外縁に曲げひびわれが確認された時の値である。計算値はひびわれ強度としてコンクリートの割裂強度を用いて一体壁として求めた値である。

全面打継ぎ試験体の実験値と計算値との比は 0.70～1.20、一体打ち試験体のそれは 0.91、1.05 であり、計算値との対応は両者とも良好である。

部分打継ぎ試験体の実験値と一体壁として求めた計算値との比は 0.46～0.65 である。実験値には接合鉄筋量による違いは認められない。

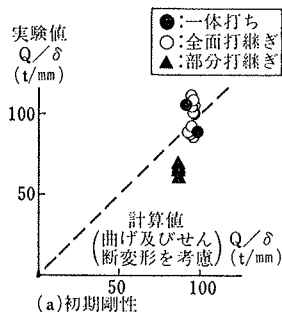
3.4.3. せん断ひびわれ強度 実験値はななめひびわれが壁厚中央を約 45度の角度で横切った時の値とし、部分打継ぎ試験体の場合には地中壁部分の壁厚の中央を横切った時の値とした。これらのひびわれの発生時期は、曲げ破壊先行型の No. 1～No. 5 は曲げ降伏以後であり、

破壊形式	試験体				初期剛性 (K=Q/δ)			曲げひびわれ強度			せん断ひびわれ強度			曲げ降伏強度			終局強度								
	引張鉄筋比 (%)	打継ぎ方法	接合鉄筋比 (%)	荷重組合せ	試験体記号	実験値 eK (t/mm)	※1 計算値 cK (t/mm)	eK/cK	実験値 eQ <sub>bc</sub> (t)	※2 計算値 cQ <sub>bc</sub> (t)	eQ <sub>bc</sub> /cQ <sub>bc</sub>	実験値 eQ <sub>sc</sub> (t)	※3 計算値 cQ <sub>sc</sub> (t)	eQ <sub>sc</sub> /cQ <sub>sc</sub>	実験値 eQ <sub>by</sub> (t)	計算値 cQ <sub>by</sub> (t)	eQ <sub>by</sub> /cQ <sub>by</sub>	実験値 eQ <sub>max</sub> (t)	※4 計算値 cQ <sub>su</sub> (t)	eQ <sub>max</sub> /cQ <sub>su</sub>	破壊モード				
曲げ破壊先行型	0.434	全面打継ぎ	Q	4	No.1	89.3	97.7	0.91	13.8	15.2	0.91	62.1	25.8	60.2	1.03	57.0	47.7	1.19	75.2	31.3	62.1	1.21	90.0	0.84	B.F1
					No.2	88.5	92.7	0.95	13.4	15.3	0.88	56.6	23.5	58.5	0.97	56.6	47.3	1.20	75.7	31.5	61.7	1.23	87.6	0.86	B.F1
					No.3	88.5	94.1	0.95	16.5	17.2	1.08	60.4	25.1	1.03	55.0	47.3	1.16	76.2	31.7	1.24	89.2	0.87	B.F1		
					No.4	91.7	94.1	0.97	30.9	30.2	1.02	95.2	39.6	1.12	82.5	67.9	1.21	101.8	42.3	89.2	1.14	95.8	1.06	B.F1	
					No.5	92.6	94.1	0.98	15.4	15.2	1.01	74.4	30.9	0.87	61.2	47.7	1.28	80.8	33.6	68.9	1.17	95.8	0.84	B.F1	
					No.6	69.9	87.0	0.80	10.9	13.4	0.65	28.5	11.8	0.47	38.3	47.3	0.81	43.8	18.2	0.71	62.1	0.92	90.6	0.63	B.F2
					No.7	64.1	87.0	0.74	7.8	16.8	0.46	30.0	12.5	0.50	40.8	47.3	0.86	56.9	23.6	0.92	62.1	1.00	90.6	0.69	B.F2
					No.8	60.6	87.0	0.70	9.3	16.8	0.55	31.9	13.3	0.53	39.5	47.3	0.84	62.2	25.8	1.00	62.1	1.03	90.6	0.71	B.F2
					No.9	67.1	87.0	0.77	8.9	16.8	0.53	32.9	13.7	0.54	42.1	47.3	0.89	63.9	26.6	1.03	62.1	1.03	90.6	0.71	B.F2
せん断破壊先行型	1.11	全面打継ぎ	Q	4	No.10	105.3	91.6	1.14	17.7	16.9	1.05	86.1	35.8	59.4	1.45	120.1	107.8	1.11	151.0	62.8	145.6	1.04	117.1	1.29	S.F
					No.11	86.2	95.4	0.90	15.1	16.7	0.90	90.3	37.5	1.53	124.6	108.2	1.15	152.7	63.5	145.4	1.05	116.6	1.31	S.F	
					No.12	103.1	95.1	1.08	19.3	16.6	1.16	65.7	27.3	1.11	99.5	94.1	1.06	128.9	53.6	98.6	1.31	83.4	1.55	B.F1	
					No.13	108.7	95.2	1.14	19.3	16.8	1.15	73.1	30.4	1.24	116.2	105.8	1.10	132.6	55.1	127.1	1.04	106.9	1.24	S.F	
					No.14	105.3	95.4	1.10	18.4	16.7	1.10	90.6	37.7	1.53	125.4	108.2	1.16	176.2	73.2	1.21	117.7	1.50	B.F1		
					No.15	102.0	95.4	1.07	16.3	16.7	0.98	107.0	44.5	1.81	124.1	108.2	1.15	175.1	72.8	145.4	1.20	122.3	1.43	B.F1	
					No.16	101.0	95.4	1.06	19.4	16.7	1.16	98.7	41.0	1.67	128.3	108.2	1.19	182.9	76.0	1.26	127.8	1.43	B.F1		
					No.17	111.1	94.4	1.18	16.3	14.4	1.13	84.7	35.2	1.46	127.2	108.2	1.18	163.2	67.8	145.5	1.12	114.5	1.43	S.F	
					No.18	101.0	94.4	1.07	22.5	32.0	0.70	124.0	51.5	1.41	145.9	127.2	1.15	176.0	73.1	170.3	1.03	120.5	1.46	S.F	
					No.19	105.3	94.4	1.12	16.2	13.5	1.20	101.6	42.2	1.16	122.9	107.6	1.14	174.4	72.5	151.6	1.15	120.5	1.45	S.F	

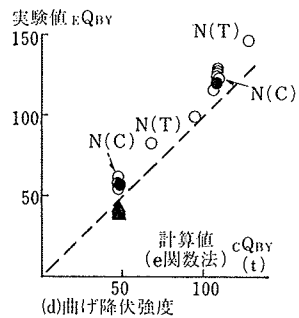
※1. 弾性剛性:  $cK = \frac{1}{\frac{1}{cK_B} + \frac{1}{cK_S}}$  ※2. 曲げひびわれモーメント:  $cM_{bc} = (Ft + \sigma_0) \cdot Ze$  ※3. せん断ひびわれ強度:  $cQ_{sc} = k_1 \sqrt{F_c} \cdot b \cdot D (1 + \frac{\sigma_0}{F_t} k_2 \cdot \frac{M}{QD}) k_3 \dots$  広沢式

※4. せん断終局強度:  $cQ_{su} = \left\{ \frac{0.0679 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 180)}{\sqrt{\frac{M}{QD} + 0.12}} + 2.7 \sqrt{P_{we} \cdot w \cdot \sigma_y} + 0.1 \sigma_0 \right\} b \cdot j \dots$  修正荒川式

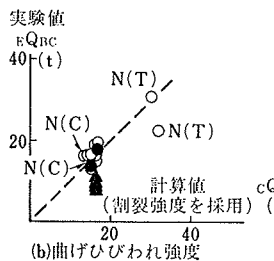
表-4 実験値と計算値との比較



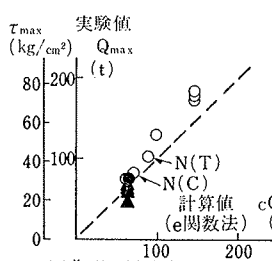
(a)初期剛性



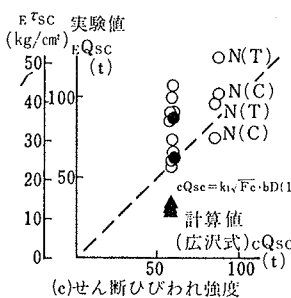
(d)曲げ降伏強度



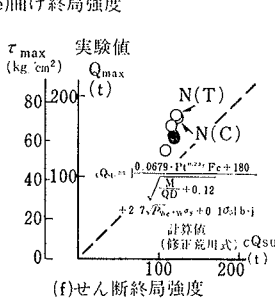
(b)曲げひびわれ強度



(e)曲げ終局強度



(c)せん断ひびわれ強度



(f)せん断終局強度

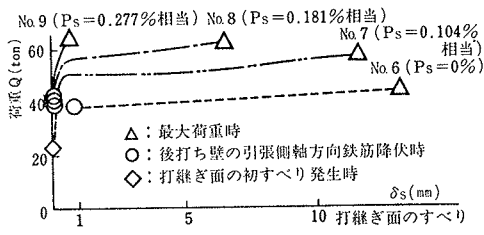


図-10 部分打継ぎ試験体の荷重～すべり関係

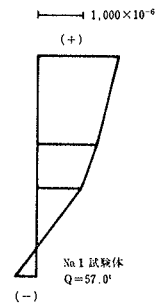


図-12 反力点上の軸方向鉄筋ひずみ分布

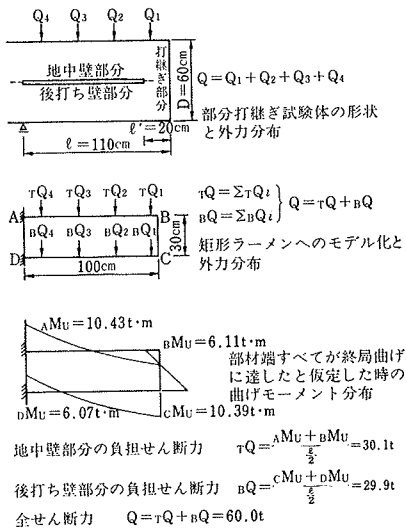


図-13 矩形ラーメンに置換した場合の終局強度の検討

図-11 初期剛性および諸強度の実験値と計算値との比較

部分打継ぎ試験体、およびせん断破壊先行型の No. 10～No. 19 は曲げ降伏以前であった。計算値は広沢式<sup>3)</sup>で求めた。

曲げ降伏以後にひびわれが発生したものを除く実験値と計算値との比は全面打継ぎ試験体が1.11～1.81、一体打ち試験体が1.45であり、両者の間に特に差はない。計算式はせん断ひびわれ強度をやや控え目に評価する傾向にある。

部分打継ぎ試験体の実験値と一体と仮定した計算値との比は0.47～0.54であり、接合鉄筋量による違いは認められない。

**3.4.4. 曲げ降伏強度** 実験値は、全面打継ぎおよび一体打ち試験体については、反力点上で引張最外縁の軸方向鉄筋が引張降伏した時の値である。部分打継ぎ試験体については、同位置で後打ち壁部分の引張側軸方向鉄筋が引張降伏した時の値である。計算値は、断面内で平面保持が成立するものとして e 関数法<sup>2)</sup>で求めた値である。

全面打継ぎ試験体の実験値と計算値との比は1.06～1.28、一体打ち試験体は1.11、1.19であり、両者とも計算値がやや小さい。計算値が実験値を下回ったのは、反力点近くでは等分布荷重によりせん断スパン比が小さくなってせん断が卓越し、断面のひずみ分布に平面保持が成立せず(図-12参照)、中間で膨らむ形になったためと考えられる。

部分打継ぎ試験体の No. 6～No. 9 について一体と仮定した計算値との比をみると、0.81→0.86→0.84→0.89 と打継ぎ部分の接合鉄筋量が増えるに従って強度がわずかずつ上昇する傾向にある。

**3.4.5. 曲げ終局強度** 実験値は加力終了時の値、計算値は e 関数法<sup>2)</sup>で求めた値である。

全面打継ぎ試験体の実験値と計算値との比は1.14～1.31、一体打ち試験体は1.21であり、全面を打継いだ場合の曲げ終局強度は一体打ちと同程度である。計算値がやや小さいが、鉄筋のひずみ硬化を考慮していないことによるものと考えられる。

部分打継ぎ試験体の No. 6～No. 9 の実験値と計算値との比は0.71→0.92→1.00→1.03と、打継ぎ部分の接合鉄筋量が増えるに従って強度が上昇し、 $P_s$  が0.181%以上のものは一体であると仮定した値に比較的近い。ただし、これらの試験体は矩形ラーメンとして挙動しており、以下に矩形ラーメンとしての曲げ終局強度の検討を行なう(図-13参照)。ここでは、地中壁部分と後打ち壁部分がどちらも荷重と同様の荷重を受け、それぞれの部材端では曲げ終局状態に達していると仮定している。部材端断面の曲げ終局モーメントを e 関数法から求め、それに対応する荷重を求めると 60.0 ton となる。接合鉄

筋を最も多く配筋した No. 9 の最大荷重は 63.9 ton、接合鉄筋のない No. 6 は 43.8 ton であり、接合鉄筋による打継ぎ部分の拘束効果が大きい前者は耐力的には矩形ラーメンとしての曲げ終局強度に達しているといえる。

**3.4.6. せん断終局強度** 実験値はせん断破壊した時の値であり、すべて曲げ降伏後のものである。計算値は修正荒川式<sup>3)</sup>で求めた値である。

全面打継ぎ試験体の実験値と計算値との比は1.24～1.46、一体打ち試験体は1.29であり、全面を打継いだ場合のせん断終局強度は一体打ちと同程度である。計算値が小さいのは、等分布荷重の場合には計算値は実際より低く評価するといわれており<sup>4)</sup>、加力形式(等分布)によるものと考えられる。

## 4. まとめ

以上の実験結果から、打継ぎ面をウォータージェットで洗浄処理して全面を打継いだ合成壁は、①接合鉄筋がなくても一体打ち壁と同等の構造性能を発揮すること、②各種強度については、一体壁と仮定して通常の強度計算を行えば、概ね妥当に評価することができること、③地中壁の先行軸力(25 kg/cm<sup>2</sup>)および軸方向鉄筋の配筋形式による打継ぎ部への影響はないこと、④フック付き、またはあばら筋形式で挿入した接合鉄筋が部材としてのせん断補強筋効果を有すること、などが確認された。

また、部分的に打継いだ合成壁は、全面を打継いだ合成壁に比べて剛性や耐力が小さいが、打継ぎ部分の補強を適切に行えば、二枚の壁と打継ぎ部分とで構成される矩形ラーメンとして設計することも可能であろうことなどが判明した。

## 謝 辞

この研究は、東京電力(株)の委託により、東電設計(株)と共同で実施したものであり、関係各位に感謝の意を表わします。

## 参考文献

- 1) 広沢: 鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究(その41.、せん断ひびわれ発生荷重について)、日本建築学会大会学術講演梗概集、(昭和51.10)、pp. 1425～1426
- 2) 梅村: 鋼筋コンクリート梁の塑性変形及び終局強度、日本建築学会論文集、第42号、(昭和26.2)、pp. 59～70
- 3) 広沢、秋山、他: 鉄筋コンクリート造耐震壁の耐震性能に関する総合研究(その2) 既往の実験結果に関する解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、(昭和50.10)、pp. 1173～1174
- 4) 柴田: 北海道大学工学部研究報告、No. 30、(Sept. 1962)、pp. 51～152