

SSS工法に関する実験的研究(その6)

—垂直継手の面外曲げせん断耐力に関する実験—

岡田 武二

武川 芳広
(土木開発部)

§ 1. まえがき

わが国に導入されて20年の実績を積んだ地中連続壁工法は、本体利用の点ではヨーロッパの技術をしのいでおり、建築地下壁の耐震壁への利用技術はほぼ完成したといえる。今後わが国では、シールドのたて坑、橋梁基礎や地下タンクなどの土木構造物へ利用することが考えられ、連続壁相互間の垂直継手の構造機能を、従来の面内せん断抵抗機能に加えて面外方向の曲げ、曲げせん断抵抗機能を有するよう拡張することが必要となる。

そのためには、確実な施工性および経済性を有する接合形式の選定、および設計で考慮している外力条件下における垂直継手部の耐力評価方法が問題となる。

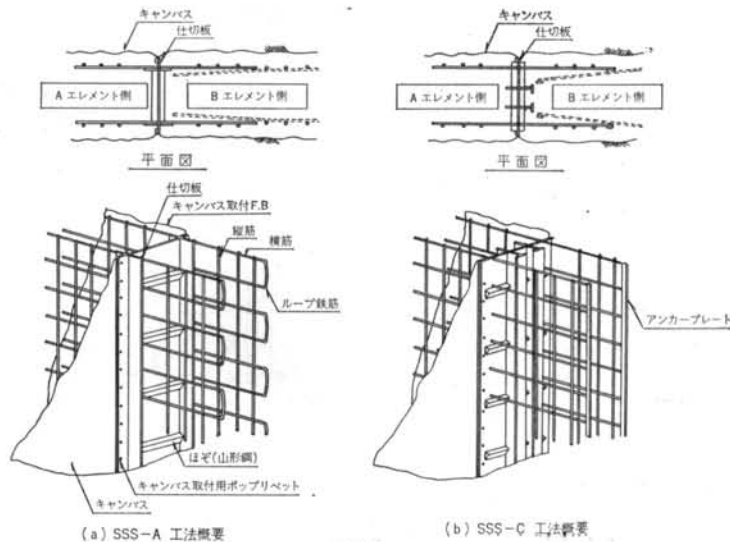
本実験は、面外方向外力に対し、垂直継手の細部設計をする上に必要な仕切鋼材の形状寸法を選定するための資料を得ること、垂直継手部の曲げ耐力算定式を得ることおよび曲げせん断耐力算定式を得ることを目的としたものである。

§ 2. 垂直継手の構造機能

SSS工法(清水式場所打ち地下構築工法)では図一1(a)に示す構造の垂直継手を考案し、種々の構造実験により面内せん断力に対する有効断面や設計許容耐力を決めて設計している。

すなわち、厚さ6mmの薄鉄板に等辺山形鋼とフランジプレートとを溶接した、ほぞ付仕切板を介してコンクリートのほぞを形成し、面内せん断力を確実に伝達する方式とし、さらに耐震壁の終局せん断耐力を鉄筋で全補強とするために水平鉄筋を重ね継手とした、ペントナイト分の影響による付着強度低下による重ね長さの増大に対しては、水平鉄筋にアンカー用の鉄板を溶接する方式としている。

今回は、さらに面外曲げせん断抵抗機能を付加するために、このほぞ付仕切板の形状を変えることおよび重ね長さの定量化に着目し、以下に示す実験を行なったものである。



図一1 地下連続壁垂直継手構造比較図

§ 3. 面外せん断実験

3.1 実験目的

本実験は、面外せん断抵抗機能を有する垂直継手の細部設計をする上に必要な仕切鋼材の形状寸法を選定するための資料を得るものである。

仕切板の形状は、面外のせん断力に対して垂直継手の耐力が一体のそれとほぼ同等であり、加工性、施工性（コンクリート充填性、側圧抵抗性等）、経済性の優れたものが必要であり、6種類を設定した。

3.2 試験体

仕切板は図-2に示す6種類とした。さらに、せん断耐力の比較資料を得るために、接合部を有しない一体試験体（Mタイプ）についても実験した。

SSタイプ：接合面に先打ちコンクリート打設時の型わく兼用の平滑鉄板（厚さ6mm）を設置し、鉄筋（SD30、D25）を貫通させたもの。主鉄筋は4本とし、せん

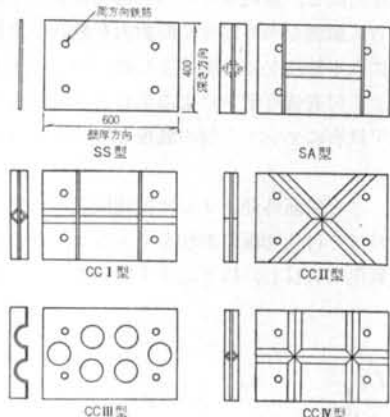


図-2 継手仕切板（正面図）

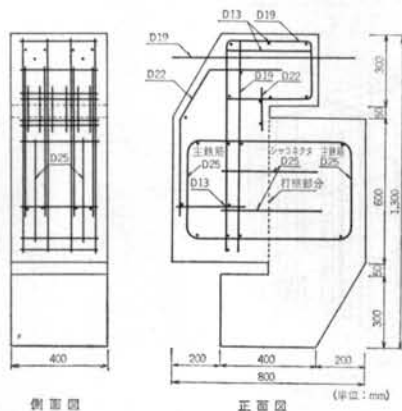


図-3 試験体寸法および配筋

断補強用鉄筋（D25、長さ300mm、片側6φ）を2本または4本増加したものも加えた。

CC Iタイプ：上記平滑鉄板に等辺山形鋼（ $L50 \times 50 \times 4$ ）および平鋼（ $B6 \times 60$ ）を両側から直角に溶接し、鉄筋をSSタイプと同様に貫通させたもの。主鉄筋は4本とし、せん断補強用鉄筋を2本または4本増加したものも加えた。

CC IIタイプ：平滑鉄板に等辺山形鋼をX型に溶接したもの。

CC IIIタイプ：平滑鉄板に半球状の凹凸部を設けたものの。

CC IVタイプ：平滑鉄板に等辺山形鋼を十型に溶接したもの。

SAタイプ：従来のSSS工法の仕切板。

各タイプとも接合面を横断する結合鉄筋比（ $p_w = A_s / bh$ ）は、0.85%、1.27%および1.70%の3水準とした。

打設状態は、泥水が面外せん断耐力に与える影響を調べるために気中、ベントナイト泥水中およびポリマー泥水中の3水準とした。さらに、接合面に一定の垂直応力が作用した影響を調べるために、平均圧縮応力 15 kg/cm^2 または平均引張応力 15 kg/cm^2 を油圧ジャッキで加えてせん断力を载荷した。

これら試験体の種類の一覧表を表-1に示す。

3.3 試験体の作製、载荷方法

試験体の寸法は図-3に示すとおりである。

実際の地下連続壁の条件にあわせるように型わくの中に泥水を24時間放置し、仕切板にベントナイト分が付着

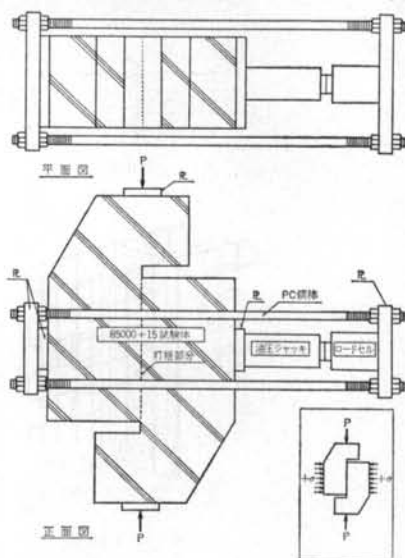


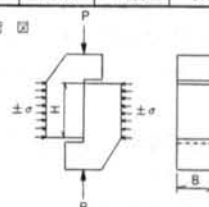
図-4 圧縮せん断実験装置

試験体名	結合鉄筋			コンクリート		軸応力度 σ (kg/cm ²)	計算値 $\frac{\tau_{u\text{ cal}}}{\sqrt{f_c}}$	実験値 $\frac{\tau_u}{\sqrt{f_c}}$	$\frac{\tau_u}{\tau_{u\text{ cal}}}$
	鉄筋	鉄筋比 ρ_w (%)	シャコ ネクタ ρ_{sc} (%)	打設条件	圧縮強度 f_c (kg/cm ²)				
M 85000	4-D25	0.85	0	気中	286	0	3.69	3.55	0.96
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.95	3.84	0.78
85085	#	#	0.85	#	#	#	6.25	3.90	0.62
85000-15	#	#	0	#	#	-15	2.52	2.84	1.13
85000+15	#	#	#	#	#	+15	4.86	4.93	1.01
SS 85000	#	#	#	#	331	0	3.51	1.10	0.31
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.68	1.32	0.28
85085	#	#	0.85	#	#	#	5.89	1.70	0.29
85085 B	#	#	#	ベントナイト泥水中	298	#	6.14	1.10	0.18
85085 P	#	#	#	ポリマー泥水中	#	#	#	1.04	0.17
85000-15	#	#	0	気中	286	-15	2.52	1.63	0.65
85000+15	#	#	#	#	#	+15	4.86	2.96	0.61
SA 85000	#	#	#	#	331	0	3.51	2.25	0.64
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.68	2.42	0.52
85085	#	#	0.85	#	#	#	5.89	2.64	0.45
CC I 85000	#	#	0	#	286	#	3.69	3.43	0.93
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.95	3.61	0.73
85085	#	#	0.85	#	#	#	6.25	3.55	0.57
85085 B	#	#	#	ベントナイト泥水中	298	#	6.14	2.78	0.45
85085 P	#	#	#	ポリマー泥水中	#	#	#	2.75	0.45
85000-15	#	#	0	気中	286	-15	2.52	3.31	1.32
85000+15	#	#	#	#	#	+15	4.86	4.94	1.02
CC II 85000	#	#	#	#	331	0	3.51	2.20	0.63
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.68	2.25	0.48
85085	#	#	0.85	#	#	#	5.89	2.64	0.45
85085 B	#	#	#	ベントナイト泥水中	298	#	6.14	2.75	0.45
85085 P	#	#	#	ポリマー泥水中	#	#	#	3.16	0.51
85000-15	#	#	0	気中	286	-15	2.52	2.84	1.13
85000+15	#	#	#	#	#	+15	4.86	4.43	0.91
CC III 85000	#	#	#	#	#	0	3.69	2.84	0.77
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.95	2.42	0.49
85085	#	#	0.85	#	#	#	6.25	2.66	0.43
85085 B	#	#	#	ベントナイト泥水中	298	#	6.14	2.03	0.33
85085 P	#	#	#	ポリマー泥水中	#	#	#	2.55	0.41
85000-15	#	#	0	気中	286	-15	2.52	1.82	0.72
85000+15	#	#	#	#	#	+15	4.86	3.96	0.82
CC IV 85000	#	#	#	#	331	0	3.51	2.47	0.71
85042	#	#	0.42	#	#	#	4.68	2.53	0.54
85085	#	#	0.85	#	#	#	5.89	2.56	0.43
85000-15	#	#	0	#	286	-15	2.52	3.07	1.22
85000+15	#	#	#	#	#	+15	4.86	4.80	0.99

$$\tau_u = P / BH$$

$$\tau_{u\text{ cal}} = 1.32 \{ (\bar{\rho}_w + \bar{\rho}_{sc}) \sigma_{sy} - \sigma \} + 1.13 \sqrt{f_c} < 5.25 \sqrt{f_c}$$

載荷図

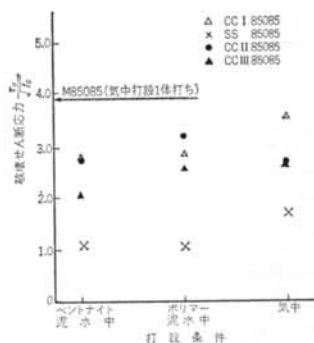


表一 面外せん断実験結果一覧表

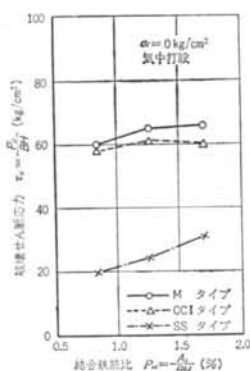
した状態でコンクリートを2回に分けて打継いだ。

使用したコンクリートの圧縮強度は平均値で 305 kg/cm^2 であった。鋼材は異形鉄筋 SD30 ($\sigma_{sy}=3860 \text{ kg}/\text{cm}^2$, $\sigma_{su}=5940 \text{ kg}/\text{cm}^2$) および鋼板 SS 41 を用いた。

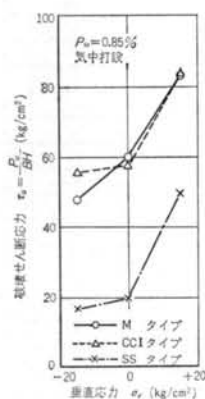
実験は接合面の面外せん断耐力が顕著に比較できるように、図一4に示すような Push-off 加力方式 (2 サイクル静的加力) とし、測定は接合面のずれ変位量、ひらき変位量 (接合面から 40 mm ずつ離れた点) および主鉄



図—5 $\tau_u/\sqrt{f_c}$ ～打設条件



図—6 破壊せん断強度と結合鉄筋比の関係



図—7 破壊せん断強度と垂直応力の関係

筋のひずみとした。

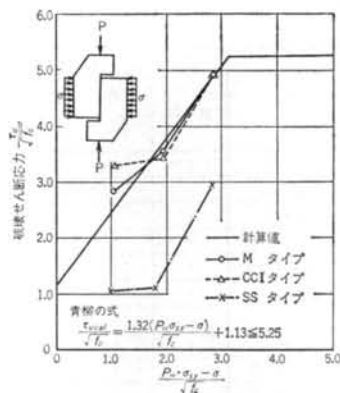
3.4 実験結果

SS タイプは荷重初期 ($\tau = 2 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$) に接合面にそってひびわれが発生し、その後鉄筋にそったひびわれが発生して破壊に至る。CCI タイプは $\tau = 6 \sim 15 \text{ kg/cm}^2$ で接合面にそったひびわれが発生し、その後このひびわれが接合面にそって成長して破壊に至った。このひびわれ性状は、接合部のないMタイプとほぼ一致している。ただし、Mタイプのひびわれ発生は $\tau = 35 \sim 42 \text{ kg/cm}^2$ であった。

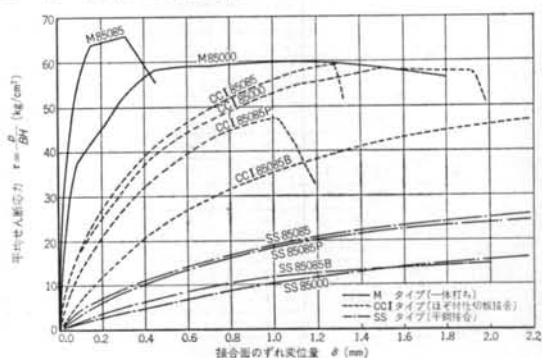
各試験体の破壊荷重時の平均せん断強度実験値 τ_u は表—1に示すとおりである。

各試験体の $\tau_u/\sqrt{f_c}$ を気中、ベントナイト泥水中、ポリマー泥水中について比較すると図—5に示すとおりである。

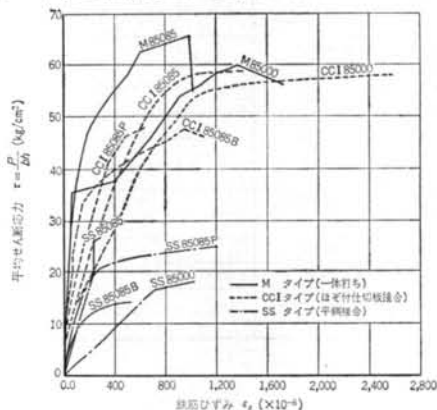
CCI タイプの実験値はMタイプの値に最も近い値が得られており、気中でMタイプの91%、泥水中で71%となった。SS タイプは気中でもMタイプの44%であっ



図—8 面外せん断実験結果



図—9 平均せん断応力とずれ変位量の関係



図—10 平均せん断応力と鉄筋ひずみ

た。図—6、図—7はCCI、SS、M各タイプの破壊せん断強度におよぼす結合鉄筋比および垂直応力の影響を示したものである。これらより、せん断強度は結合鉄筋比 P_w および垂直応力 σ_v の増加にともなって増すことが認められる。一体打ちコンクリートに予めひびわれを入れた Push-off 実験結果⁹⁾によれば、ひびわれ断面のせん断強度 τ_{ucal} は実験式(1)で算定できる。

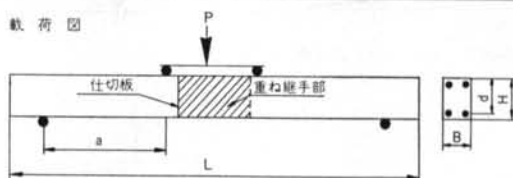
試験体名	主 鉄 筋			コ ン ク リ ー ト			計 算 値		実 験 値		$\frac{M_u}{M_{p,cal}}$	$\frac{M_u}{M_{b,cal}}$	備 考 (a/u)	
	鉄 筋	鉄筋比 ρ (%)	重ね 長さ l (cm)	種 別	寸 法 $B \times H \times L$ (cm)	打 設 条 件	圧 縮 強度 f_c (kg/cm^2)	降 伏 モーメント $M_{p,cal}$ ($\text{t}\cdot\text{m}$)	付着破壊 モーメント $M_{b,cal}$ ($\text{t}\cdot\text{m}$)	最 大 モーメント M_u ($\text{t}\cdot\text{m}$)				最大付 着応力 τ_{bu} (kg/cm^2)
M 50	4-D25	0.51	—	通し鉄筋	40×60×580	気 中	294	18.39	—	22.66	—	1.23	—	3.5
CC I 50R 20B	#	#	48	ループ	#	ベントナイト泥水中	281	18.36	15.32	10.41	20.4	0.57	0.68	#
50W27B	#	#	65	ラップ	#	#	#	#	13.82	15.75	34.2	0.86	1.14	#
50W40B	#	#	104	#	#	#	#	#	22.11	18.46	25.0	1.01	0.83	#
50R 20P	#	#	41	ループ	#	ポリマー泥水中	356	18.52	13.08	13.21	30.3	0.71	1.01	#
50W27P	#	#	62.5	ラップ	#	#	#	#	13.29	15.57	35.1	0.84	1.17	#
50W40P	#	#	94	#	#	#	#	#	19.99	16.62	24.9	0.90	0.83	#
50R 30P	#	#	74	ループ	#	#	353	16.54	23.60	18.90	24.0	1.14	0.80	#
50R 35P	#	#	86.5	#	#	#	#	#	27.59	21.09	22.8	1.28	0.76	#
50W40P	#	#	102	ラップ	#	#	375	16.56	21.69	#	29.1	1.27	0.97	#
50W45P	#	#	112	#	#	#	#	#	23.77	21.79	27.6	1.32	0.92	#

$$M_{y,cal} = \rho \cdot \sigma_{sy} B d^2 (1 - 0.59 \frac{\rho \cdot \sigma_{sy}}{f_c})$$

$$M_{b,cal} = \begin{cases} \frac{3}{2} n l u_j d & \dots \dots \dots \text{ラップ形状} \\ \frac{3}{2} n l u_j d & \dots \dots \dots \text{ループ形状} \end{cases}$$

ここで $\tau_b = 30 \text{ kg/cm}^2$

$$\tau_{bu} = \begin{cases} \frac{M_u}{n l u_j d} & \dots \dots \dots \text{ラップ形状} \\ \frac{2}{3} \frac{M_u}{n l u_j d} & \dots \dots \dots \text{ループ形状} \end{cases}$$



表—2 面外曲げ実験結果一覧表

$$\frac{\tau_{u,cal}}{\sqrt{f_c}} = \frac{1.32(\rho_w \sigma_{sy} - \sigma_v)}{\sqrt{f_c}} + 1.13 \leq 5.52 \quad \dots \dots (1)$$

気中打設の CC I および SS タイプの実験値と式(1)とを比較すると図—8に示すとおりであり、CC I タイプはほぼ式(1)で評価できることが示された。

図—9、図—10は、接合面に作用している平均せん断応力とずれ変位量および鉄筋のひずみ（接合面より20mm離れた8点の平均値）との関係を示したものである。これらより、SS タイプは載荷初期から接合面にずれ変位を生じており、鉄筋に大きな引張力が作用していることが明らかである。一方、接合部のないMタイプではひびわれ発生までずれ変位も小さく、ひびわれ発生後に鉄筋に応力が作用している。CC I タイプでは SS タイプにくらべて同一せん断応力に対するずれ変位量も小さく、鉄筋ひずみはMタイプのひびわれ発生後とほぼ同じ挙動を示している。また、泥水中に打設した場合には、気中にくらべてずれ変位量が大きくなる傾向が認められる。

§ 4. 面外曲げ実験

4.1 実験目的

本実験は、重ね継手の重ね長さとし面外曲げ耐力の関係を実験的に求め、設計資料を得るものである。

4.2 試験体

試験体は壁厚 60 cm とした。実験の要因は重ね長さ、重ね種別（ループ、ラップ、通し鉄筋）および打設条件（気中、ベントナイト泥水中、ポリマー泥水中）とした。鉄筋比は 0.51%（D25、2 本、単鉄筋比）とした。

重ね長さはループ方式で 16φ～35φ、ラップ方式で 25φ～45φとした。

これら試験体の種類の一覧表を表—2に示す。

4.3 試験体の作製、載荷方法

試験体の寸法は図—11に示すとおりである。

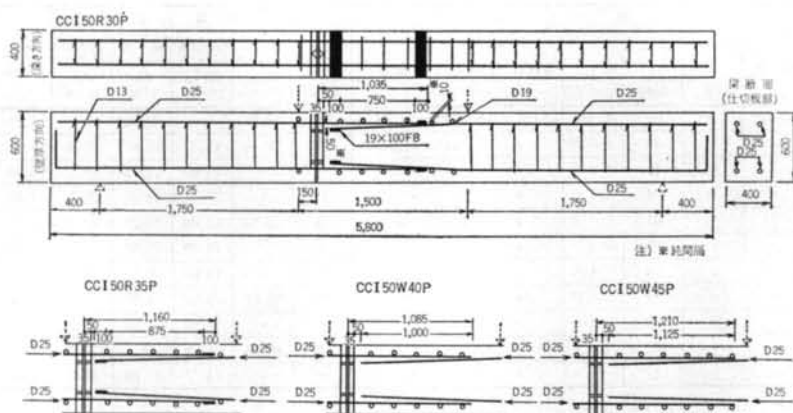
泥水中でコンクリートを打設する条件に近似させるために、鉄筋をポリマー泥水中に24時間つけておき、泥水を除去した後に気中でコンクリートを打設したもの、および泥水中にトレミー方式でコンクリートを打設したものがある。

使用したコンクリートの圧縮強度は表—2に示すとおりである。また、異形鉄筋は SD30、($\sigma_{sy}=3750 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{sy}=3546 \text{ kg/cm}^2$)である。

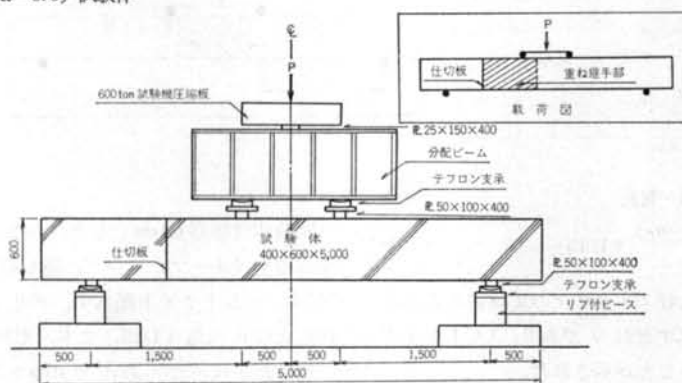
実験は、重ね継手部に純曲げモーメントが作用するように、図—12に示すような2点載荷単純はり方式（2サイクル静的加力）とし、測定は接合面のずれ変位量、ひらき変位量（接合面から 40 mm ずつ離れた点）、たわみ、および主鉄筋のひずみとした。

4.4 実験結果

試験体のひびわれ発生状況の例を図—13に示す。



図—11 面外曲げ ($a/d=3.5$) 試験体



図—12 面外曲げ実験装置 ($a/d=3.5$)

ひびわれは、載荷点近傍の下端から曲げひびわれが発生した。荷重の増加にともなってこの曲げひびわれが成長するとともに、新たにほぼ等間隔に曲げひびわれが発生する。重ね長さの小さいものは仕切板平鋼先端、および重ね継手端部近傍の曲げひびわれから水平方向にひびわれが進展する。これらの水平ひびわれが貫通した時点で、主鉄筋の引張力伝達が不可能となり、付着破壊となる。重ね長さの大きいものは、主鉄筋が降伏した後に上記の挙動が観察された。

各試験体の最大モーメント M_u は表—2 に示すとおりであった。一体試験体の曲げ降伏モーメント計算値 M_{ycal} は、式(2)²⁾で計算すると表—2 となる。

$$M_{ycal} = p \cdot \sigma_{sy} B d^2 \left(1 - 0.59 \frac{p \cdot \sigma_{sy}}{f_c} \right) \quad \dots\dots(2)$$

ここに、 p : 鉄筋比

σ_{sy} : 鉄筋降伏点強さ

B : 梁幅

d : 有効高さ

f_c : コンクリート圧縮強度

重ね長さ l を鉄筋直径 ϕ の n 倍として表示し、 M_u /

M_{ycal} との関係を図示すると図—14が得られる。この図より、降伏点強さ $\sigma_{sy}=3700 \sim 3900 \text{ kg/cm}^2$ の鉄筋を有する降伏点モーメントを確保するためには、重ね長さをループ方式では 30ϕ 以上、ラップ方式では 40ϕ 以上とすればよいことが明らかである。

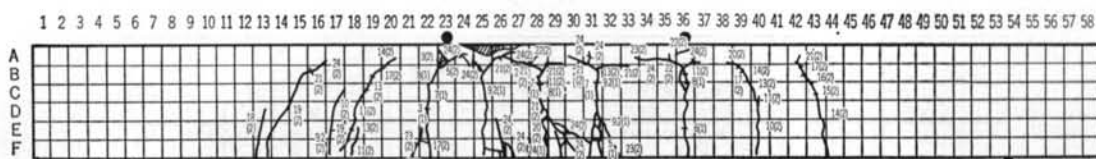
図—15は、等モーメント部のたわみ差から求めた平均曲率の降伏時曲率 ϕ_y と終局時曲率 ϕ_u との比 ϕ_u/ϕ_y と、重ね長さ $l=n\phi$ との関係を示したものである。この図より、 $\phi_u/\phi_y=3.5$ 以上を確保するためには重ね長さはループ方式で 35ϕ 以上、ラップ方式で 45ϕ 以上必要である。

§ 5. 面外曲げせん断実験

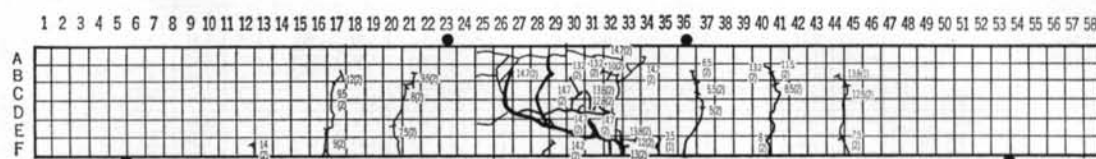
5.1 実験目的

本実験は、仕切板部および重ね継手部に生じた曲げひびわれからせん断破壊するときの曲げせん断耐力に及ぼす要因を種々変化させ、曲げせん断耐力算定式を実験的に求め、設計資料を得るものである。

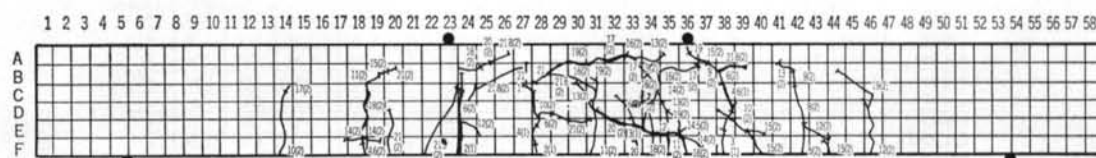
試験体名 M50



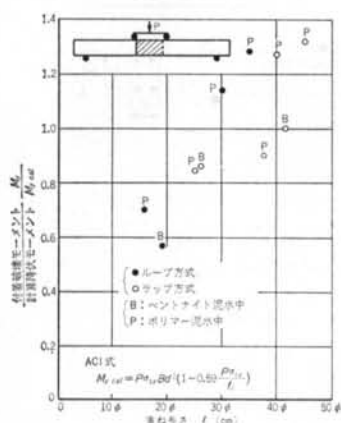
試験体名 CCI50W27P



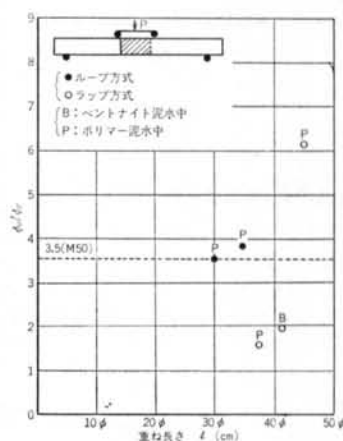
試験体名 CCI50W45P



図—13 ひびわれ発生状況



図—14 $M_n/M_{ysd} \sim$ 重ね長さ l



図—15 $\phi_u/\phi_g \sim$ 重ね長さ l

5.2 試験体

仕切板は、図—2の SS タイプおよび CC I タイプの 2 種類とした。さらに、曲げせん断耐力の比較資料を得るために、接合部を有しない一体試験体 (Mタイプ) および 5 mm 凹凸打継目試験体 (IV タイプ) についても実験した。

曲げせん断耐力に影響をおよぼす要因のうち、せん断スパン比、鉄筋比、重ね長さ、重ね種別 (ループ、ラッ

プ、通し鉄筋)、打設条件 (気中、ベントナイト泥水中、ポリマー泥水中) および軸方向圧縮応力度を変えた。

せん断スパン比は $a/d=1.0, 2.0$ および 3.0 の 3 種類とし、支点反力の影響による耐力増加効果の少ない $a/d=3.0$ が大部分である。

鉄筋比は、 $\rho=0.2, 0.5$ および 1.0% (単鉄筋比) の 3 種類とした。

重ね長さは、ループ方式で $10\phi \sim 20\phi$ 、ラップ方式で

試験体名	主 鉄 筋			コン ク リ ート		計 算 値		実 験 値		$\frac{\tau_u}{\tau_{u cal}}$	備 考 (a/d)		
	鉄 筋	鉄筋比 (%)	重ね 長さ (mm)	種 別	寸 法 B×H×L (mm)	打 設 条 件	圧 縮 強 度 f_c (kg/cm ²)	破壊せん 断 応 力 $\tau_{u cal}$ (kg/cm ²)	$\frac{\tau_u}{\sqrt{f_c}}$			破壊せん 断 応 力 τ_u (kg/cm ²)	$\frac{\tau_u}{\sqrt{f_c}}$
M 20	4-D16	0.20	—	通し鉄筋	40×60×500	気 中	277	4.7	0.72	4.6	0.71	0.98	3.0
50	4-D25	0.51	—	#	#	#	#	6.7	1.03	9.1	1.40	1.36	#
100	8-D25	1.01	—	#	#	#	#	8.9	1.36	12.4	1.90	1.39	#
IV 20	4-D16	0.20	—	#	#	#	#	4.7	0.72	5.8	0.89	1.23	#
50	4-D25	0.51	—	#	#	#	#	6.7	1.03	9.5	1.46	1.42	#
100	8-D25	1.01	—	#	#	#	#	8.9	1.36	12.9	1.98	1.45	#
SS 20	4-D16	0.20	—	#	#	#	#	4.7	0.72	5.4	0.83	1.15	#
50	4-D25	0.51	—	#	#	#	#	6.7	1.03	9.0	1.38	1.34	#
100	8-D25	1.01	—	#	#	#	#	8.9	1.36	13.4	2.06	1.51	#
CC I 20	4-D16	0.20	—	#	#	#	#	4.7	0.72	5.1	0.78	1.09	#
50	4-D25	0.51	—	#	#	#	#	6.7	1.03	9.8	1.50	1.46	#
100	8-D25	1.01	—	#	#	#	#	8.9	1.36	13.3	2.04	1.49	#
50-2.0	4-D25	0.51	—	#	40×60×400	#	#	8.0	1.23	13.9	2.13	1.74	2.0
50-1.0	#	#	—	#	40×60×300	#	#	11.9	1.83	24.7	3.79	2.08	1.0
20R 20B	4-D16	0.20	24	ループ	40×60×500	ベントナイト泥水中	315	5.0	0.73	5.8	0.86	1.16	3.0
50R 20B	4-D25	0.51	48	#	#	#	#	7.0	1.03	8.2	1.21	1.17	#
100R 20B	8-D25	1.01	#	#	#	#	#	9.3	1.37	7.1	1.05	0.77	#
20R 20P	4-D16	0.20	17.5	#	#	ポリマー泥水中	353	5.2	0.73	6.97	0.99	1.34	#
50R 20P	4-D25	0.51	41	#	#	#	#	7.3	1.03	8.94	1.26	1.22	#
100R 20P	8-D25	1.01	#	#	#	#	#	9.6	1.35	7.12	1.01	0.74	#
SS 50R 20P	4-D25	0.51	42	#	#	#	#	7.3	1.03	6.84	0.97	0.94	#
CC I 20W 45P	4-D16	0.20	72	ラップ	#	#	354	5.15	0.73	4.66	0.66	0.90	#
50W 45P	4-D25	0.51	113	#	#	#	#	7.31	1.03	10.41	1.47	1.42	#
100W 45P	8-D25	1.01	112.5	#	#	#	#	9.70	1.37	10.91	1.54	1.12	#
50W 45P+15	4-D25	0.51	115	#	#	#	336	7.18	1.03	14.16	2.04	1.97	#
50W 45P+40	#	#	111.5	#	#	#	354	7.31	#	18.71	2.64	2.56	#
SS 50W 45P+15	#	#	113	#	#	#	336	7.18	#	14.16	2.04	1.97	#
50W 45P+40	#	#	111	#	#	#	#	#	#	17.96	2.58	2.50	#
M 50 +15	#	#	—	通し鉄筋	#	気 中	354	7.31	#	14.11	1.99	1.93	#
50 +40	#	#	—	#	#	#	336	7.18	#	18.66	2.68	2.60	#

$$\tau_{u,cal} = 0.94 \sqrt{f_c} (0.75 + 1.4 \frac{d}{a}) (1 + \beta_p + \beta_d)$$

ここで、 $\beta_p = \sqrt{p} - 1$
 $\beta_d = \sqrt{\frac{1}{d}} - 1$

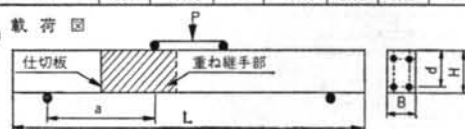


表-3 面外曲げせん断実験結果一覧表

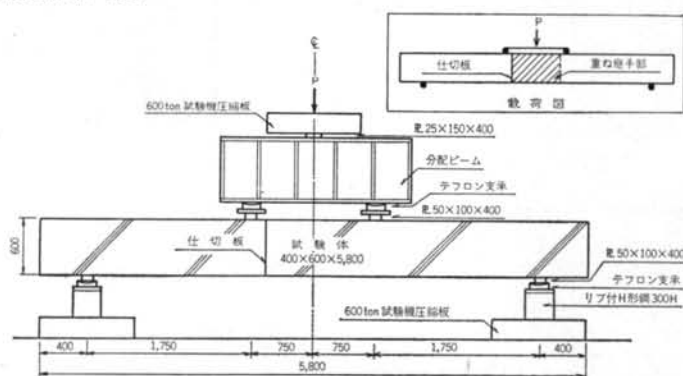


図-16 面外曲げせん断実験装置 (a/d=3.0)

45°とした。

軸方向圧縮応力度は、壁厚さ方向に一定とし、軸圧縮応力度 $\sigma_v=0$ 、15 および 40kg/cm² の 3 種類とした。

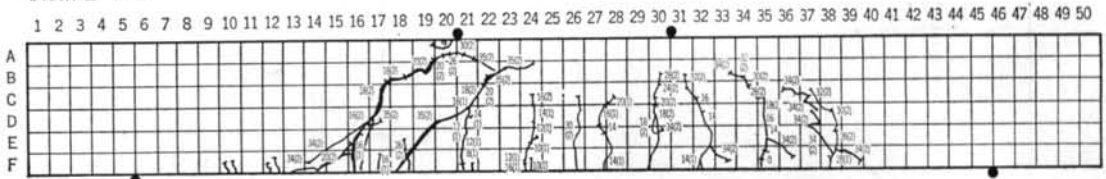
これら試験体の種類の一覧表を表-3 に示す。

5.3 試験体の作製、載荷方法

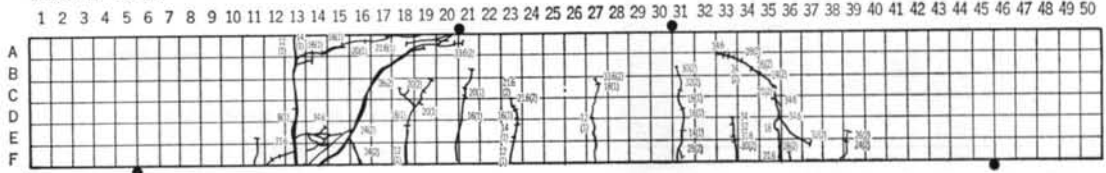
試験体の寸法は壁厚さHを60cm（有効高さd=50cm）とし、幅Bを40cmとした。

主鉄筋の重ね種別が通し鉄筋の試験体は、重ね継手がなく、泥水の影響もない場合を想定しているため、一般

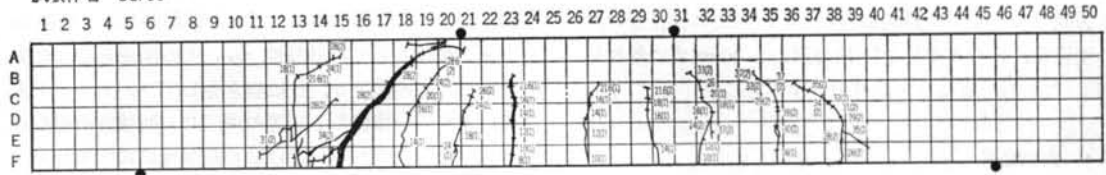
試験体名 M50



試験体名 SS50

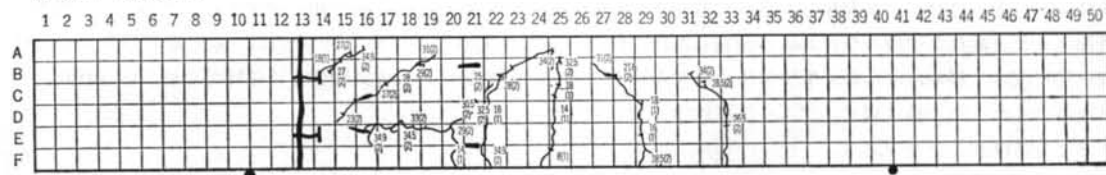


試験体名 CCI50

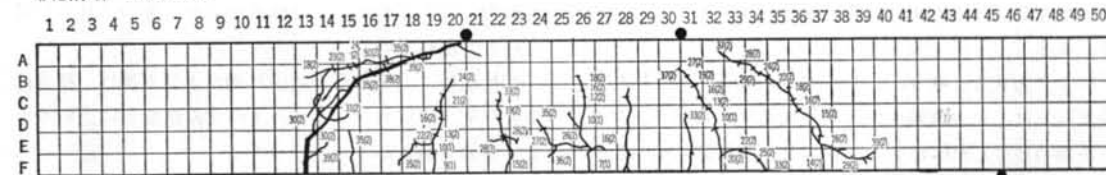


図一七 ひびわれ発生状況（通し鉄筋、気中打設）

試験体名 CCI50R20P



試験体名 CCI50W45P

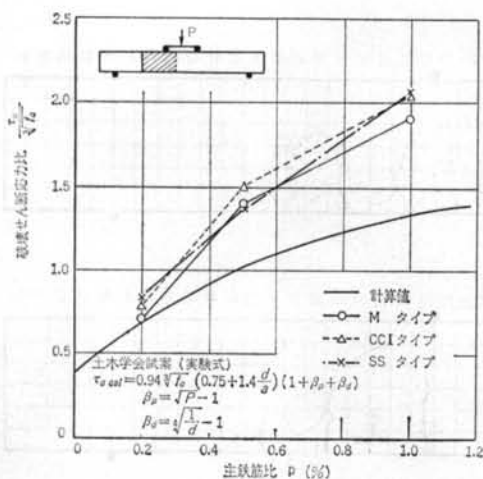


図一八 ひびわれ発生状況（重ね継手、泥水中打設）

鉄筋コンクリートと同様に気中で打設した。しかし、主鉄筋の重ね種別がループまたはラップ方式の試験体は、鉄筋をポリマー泥水中に24時間つけておき、泥水を除去した後に気中でコンクリートを打設したものおよび泥水中にトレミー方式でコンクリートを打設したものがある。

使用したコンクリートの圧縮強度は、表一三に示すとおりである。また、異形鉄筋はSD30（D16、 $\sigma_{sy}=000 \text{ kg/cm}^2$ 、D25は $\sigma_{sy}=3750 \text{ kg/cm}^2$ ならびに $\sigma_{sy}=3546 \text{ kg/cm}^2$ ）である。

実験は、仕切板部および重ね継手部に曲げせん断力が作用するように、図一六に示すような2点載荷単純は



図—19 面外曲げせん断実験結果

り方式（2サイクル静的加力）とし、測定は接合面のずれ変位量，ひらき変位量（接合面から40mmずつ離れた点），たわみ，および主鉄筋のひずみとした。

5.4 実験結果

図—17は，重ね継手がなく泥水の影響のない試験体のひびわれ発生状況を示す。CCIタイプでは，まず仕切板部と載荷点近傍に曲げひびわれが発生し，その後等間隔に新たに曲げひびわれが発生し，さらに載荷点より有効高さ d だけ離れた位置のひびわれが傾斜した後，仕切板近傍に向けて斜めひびわれが発生して曲げせん断破壊に至る。これらの挙動はMタイプ（一体試験体），SSタイプともほぼ同じ経過である。

図—18は，重ね継手があり泥水の影響のある試験体のひびわれ発生状況を示す。ループ方式（CCI50R20P）では，重ね長さが 16ϕ と小さいので曲げせん断破壊する前に付着破壊した。曲げ耐力実験結果によれば，付着破壊を防止するためには重ね長さを 35ϕ 以上とする必要がある。

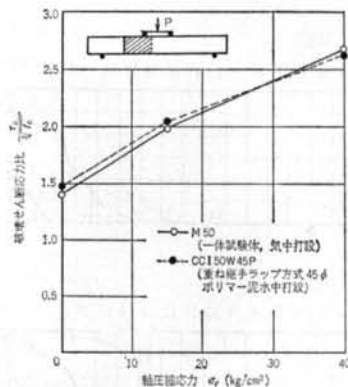
ラップ方式で，重ね長さが 45ϕ の場合（CCI50W45P）には，付着破壊せず仕切板部に生じた曲げひびわれが斜めひびわれに成長し，曲げせん断破壊に至った。

各試験体の破壊時の平均せん断応力 $\tau_u = V_u/Bd$ は，表—3に示すとおりであった。一体試験体の曲げせん断破壊応力 τ_{ucal} は，式(3)³⁾で計算すると表—3となる。

$$\tau_{ucal} = 0.94 \sqrt{f_c} \left(0.75 + 1.4 \frac{d}{a} \right) (1 + \beta_p + \beta_d) \quad \dots\dots(3)$$

ここに， $\beta_p = \sqrt{p} - 1$

$\beta_d = \sqrt{1/d} - 1$



図—20 軸圧縮応力と曲げせん断強度の関係

a ：せん断スパン

d ：有効高さ

f_c ：コンクリート圧縮強度

図—19は，重ね継手がなく泥水の影響のない実験値 τ_u と一体試験体としての計算値 τ_{ucal} との関係を示したものである。この図より，仕切板を介してコンクリートを打継いでも，一体打ちと同等の曲げせん断強度が得られることが示されており，曲げせん断強度は式(3)で算定してよいことが分かる。

一方，重ね継手があり，泥水の影響を受けた試験体のうち曲げせん断破壊した実験値 τ_u は，軸方向圧縮応力との関係で示すと図—20に示すとおりであった。重ね長さが 45ϕ の曲げせん断強度は，軸圧縮応力の増大に伴って増加し，一体試験体とほぼ同等な値が示された。

§ 6. 結 論

以上の実験より次のことがいえる。

1) 6種類の仕切板形状のうち，CCIタイプが面外せん断力に対して変形および強度の点で一体のそれらに最も近く，優れている。

2) 仕切板に溶接した等辺山形鋼および平鋼は，接合面の変形を一体打ちコンクリートのせん断変形に近いものとする効果がある。

3) CCIタイプのような仕切板を設けることにより，面外せん断抵抗力を一体構造とほぼ同等に設計できる。

4) 面外曲げモーメントに対して一体ものとはほぼ同等の曲げ耐力を得るためには，重ね長さをループ方式では 35ϕ 以上，ラップ方式では 45ϕ 以上とする必要がある。

5) 面外曲げせん断力に対して一体ものとはほぼ同等の曲げせん断強度を得るためには，CCIタイプのような仕切板（平鋼溶接仕切板）を用いるとともに，重ね継手部

の曲げ降伏強度を確保することが必要である。

では45φ以上とすれば垂直継手の曲げせん断強度はほぼ

6)重ね長さをループ方式では35φ以上、ラップ方式

一体ものと同等であり、式(3)で算定することができる。

＜参考文献＞

- 1) 田中，磯畑，青柳：“RCCV 基部の面外せん断”昭和54年度日本建築学会秋季大会学術講演梗概集
- 2), 3) 土木学会：“コンクリート構造の限界状態設計法試案”（昭和56年4月）

