

[95] 重ね継手部の高応力繰返し曲げ特性

正会員 ○長澤 保紀(清水建設技術研究所)
 正会員 内田 裕市(清水建設技術研究所)
 正会員 岡田 武二(清水建設技術研究所)

1. はじめに

複数の重ね継手を有する鉄筋コンクリート部材において、地震時のように高応力繰返し荷重が作用したときの耐力評価が必要である。土木学会鉄筋継手指針(案)⁷⁾では、継手の集中度が1/2を超える場合に継手部の許容応力度は、継手の種類に応じ、適宜これを低減する旨を述べている。

そこで、地中連続壁で用いられる重ね継手(同一断面に集中)に着目し、地中連続壁を本体構造物の一部とした合成部材を対象として重ね継手の高応力繰返し曲げ耐力性能について実験的に検討した。以下に、その概要を述べる。

2. 実験の概要

試験体は、地中連続壁に相当する部分(以下先打部と略)と後から重ね打つ部分(以下後打部と略)から構成され、形状・寸法は図-1に示すとおりである。コンクリートは圧縮強度620kgf/cm²(先打部W/C=32.5%)、270kgf/cm²(後打部W/C=55.0%)とし、粗骨材は最大寸法25mmとした。

配筋状況は図-2に示すとおりであり、重ね継手はオフセット型で、重ね合せ長さ45D、離れ約2.5D、オフセット端部に幅止め鉄筋(D6)を配置し、かつ、横方向鉄筋・仕切板・結合鉄筋を配置したものである。

試験体の製作は、先打部鉄筋の組立て後ベントナイト泥水に浸し、48時間以上経過後に排水してコンクリートを打設した。硬化後、打継面を6mm程度の凹凸で目荒しを行い、後打部コンクリートを打継いだ。

荷重装置は試験区間280cmに一樣な曲げモーメントが作用するもの(図-1)とした。試験体の種類としては、静的曲げ加力(H-S)、0.85Myで30回繰返し加力(H-85)、0.90Myで30回繰返し加力(H-90)、0.95Myで30回繰返し加力(H-95)の各1体とした。

一方、CEB-FIP³⁾では寸法効果を考慮した曲

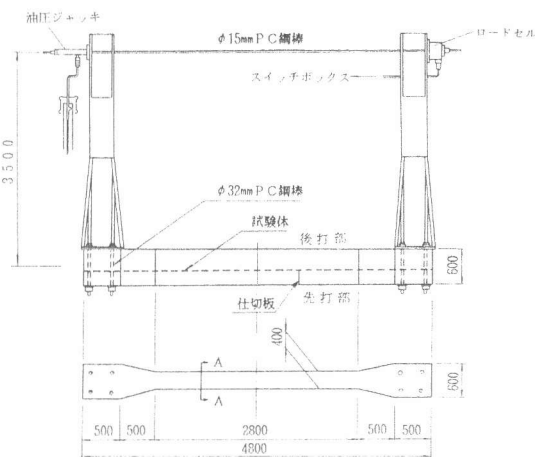


図-1 試験体および荷重装置概観

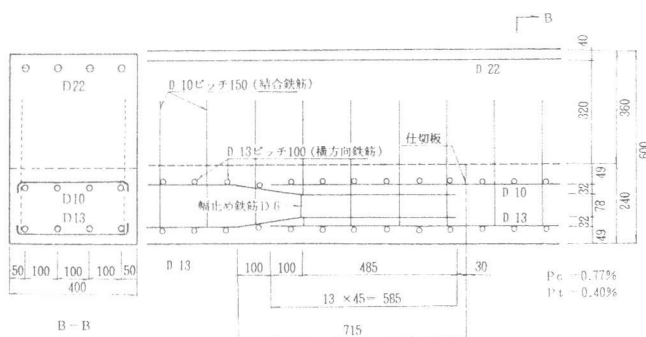


図-2 試験区間試験体配筋状況

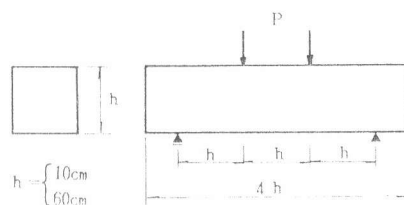


図-3 曲げ強度試験体荷重モデル

表-1 コンクリート曲げ強度試験結果

	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)				寸法効果 σ _{b,60} /σ _{b,10}
			10×10×40		60×60×240		
先打部	586	平均 33.2 42.8 44.9	55.5	31.7	平均 56.5 29.9 32.5	平均 31.4 22.9 22.4	0.56
	582		55.8	29.9			
	577		58.5	32.5			
後打部	310	平均 28.3 31.8 27.4	43.8	22.5	平均 43.7 44.4 42.9	平均 22.9 22.9 21.7	0.51
	333		44.4	22.9			
	311		42.9	21.7			

げ強度式が提案されていることから、試験体と同一高さ $h = 60 \text{ cm}$ と標準供試体 $h = 10 \text{ cm}$ について曲げ強度試験を実施することとした。

図-3に曲げ強度試験体と載荷モデルを示す。

3. 実験結果と考察

a) 曲げ強度の寸法効果

曲げ強度試験結果を表-1, 図-4に示す。

$h = 60 \text{ cm}$ の曲げ強度結果は、CEB-FIP³⁾の提案式より低く、 $h = 10 \text{ cm}$ に対して強度比は56% (先打部), 51% (後打部)であり、土木学会指針案 ($f_b = 0.9 f_c^{2/3}$) の62%, 57%となる。寸法効果には、温度収縮・乾燥収縮をはじめコンクリート内部の欠陥確率の増加などが考えられ、定式化はむづかしいが、何らかの形で寸法効果を考慮した方が実際とよく一致すると考えられる。

b) ひびわれ性状

試験体4体のひびわれ状況を図-5に示す。

ひびわれは先打部引張縁から後打部圧縮縁に向ってほぼまっすぐに進展しており、打継面での不連続性はなく、一体として挙動している。ひびわれ間隔をみると、重ね継手部が一般部より大きくなる傾向はみられず、試験体H-95が他の試験体より少し小さい結果を示している。また、CEB-FIPで求めた平均ひびわれ間隔(15.6 cm)より大きい値となっているのはコンクリート強度が高いためと考えられる。

仕切板部および一般部での先打部下段鉄筋(D13)位置におけるひびわれ幅と鉄筋応力度の関係を図-6に示す。

一般部についてはひびわれ発生後に計器を取り付けた事による初期ひびわれを補正したが、仕切板部・一般部ともGergely-Lutz式とよく一致する。繰返し荷重作用によるひびわれ挙動は、ひびわれの圧縮縁への進展や鉄筋の付着切れによって変化するが、

ひびわれ幅と鉄筋応力度の勾配はほぼ一定である。繰返し荷重下でのひびわれ幅の振幅状況を表-2に示す。仕切板による潜在的なひびわれの存在と継手端で引張鉄筋の有効高さが少し小さいことにより、一般部に比して仕切板部および継手端近傍のひびわれ幅が大きい傾向を示す。繰返しに

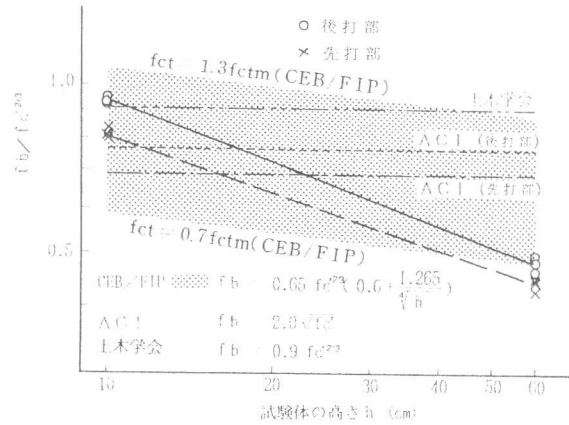


図-4 曲げ強度試験結果と各国規準

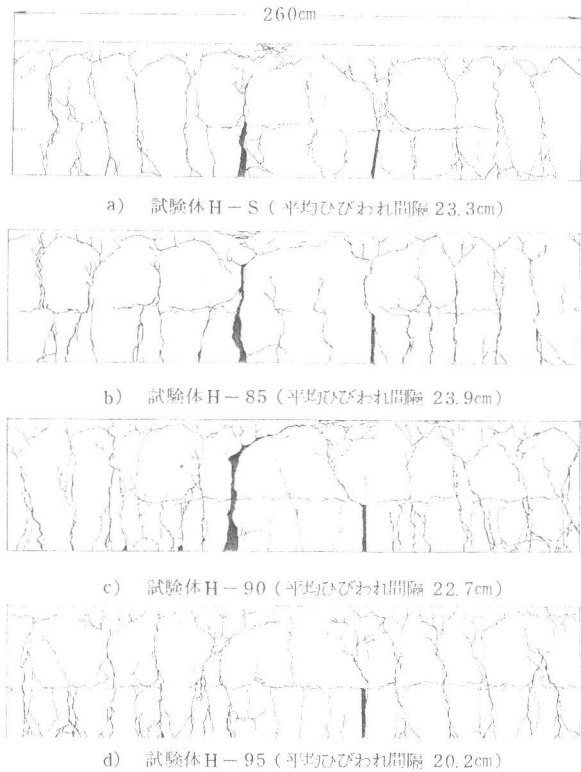


図-5 ひびわれ状況図

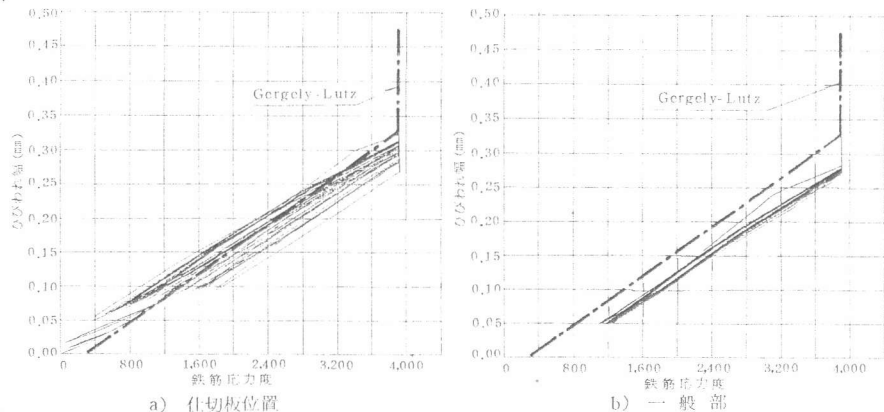


図-6 ひびわれ幅と鉄筋応力度の関係 (H-90 試験体の場合)

注) 鉄筋応力度はひびわれ測定値に $2.1 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^2$ を乗じた値である。

よるひびわれ幅の拡幅は、試験体H-85、H-90ではあまり変化がないが、試験体H-95ではかなり大きく変化している。

c) 曲率と曲げ剛性

曲げモーメントと曲率の関係を図-7および図-8に示す。土木学会指針案¹⁾の断面剛性式(4次式を採用)に試験体の断面定数・弾性係数を代入し、さらに、本実験で得た曲げ強度の寸法効果を考慮して計算した結果を同図の破線に示す。実験結果と計算結果を比較すると、試験体は仕切板位置に初期ひびわれを有するはりであるため、初期の立上りが異なっているが、ひびわれ発生以降では計算結果はほぼ実験結果を包絡している。試験体H-95は繰返しによる残留たわみが他の試験体よりも増加し、曲率も次第に大きくなる傾向を示すが、曲げモーメントの増分に対する曲率の増分については各試験体ともほとんど変化がなくほぼ一定とみられる。

図-7は破壊に至るまでの曲げモーメントと曲率の関係を示したものであるが、繰返しによる残留たわみ分を差引いて曲率を求めるならば各試験体ともほぼ同一のM- θ 関係を示しているといえる。

図-9は、曲げ剛性の低減率と鉄筋応力度との関係を示したものであり、図-8を視点を変えてみたものである。

図-8と同様に土木学会指針案¹⁾にもとづく計算結果を破線に示している。実験結果によれば、仕切板位置での初期ひび

われの存在により初期剛性ですでに0.7程度に低減しており、新たなひびわれの発生とひびわれの伸展により漸減する傾向を示している。一方、計算結果はひびわれ発生曲げモーメントに達した後、連続的に低減する傾向を示している。ところが、一般にコンクリートの引張強度が高く鉄筋比が

表-2 繰返し荷重下でのひびわれ幅の拡幅状況

試験体記号	測定位置	W ₂	W ₁₀	W ₃₀	W ₁₀ /W ₂	W ₃₀ /W ₂
H-85	仕切板位置	0.31	0.33	0.34	1.06	1.10
	継手端近傍	0.29	0.34	0.37	1.17	1.28
	一般部	0.17	0.21	0.22	1.24	1.29
H-90	仕切板位置	0.30	0.34	0.39	1.13	1.30
	継手端近傍	0.23	0.27	0.29	1.17	1.26
	一般部	0.21	0.24	0.25	1.14	1.19
H-95	仕切板位置	0.56	0.94	1.02	1.68	1.82
	継手端近傍	0.22	0.41	1.11	1.86	5.05
	一般部	0.28	0.31	0.33	1.11	1.18

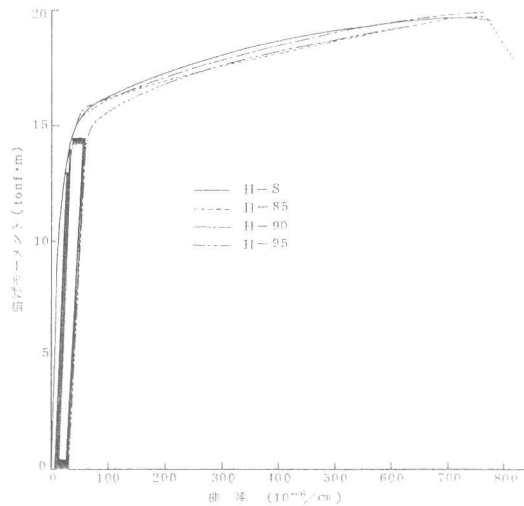
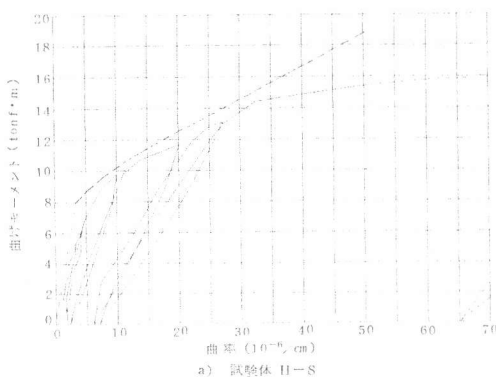
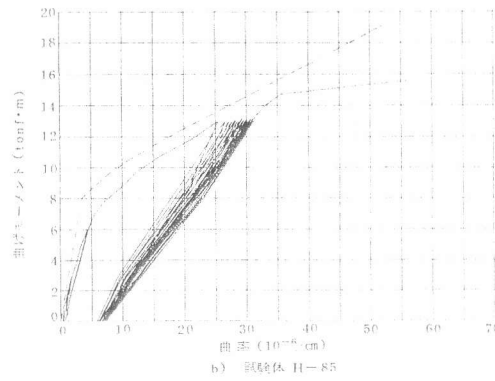


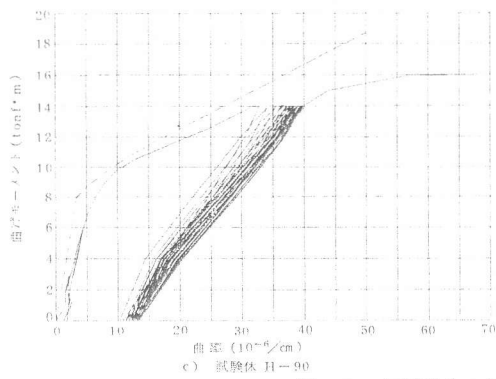
図-7 モーメント曲率関係



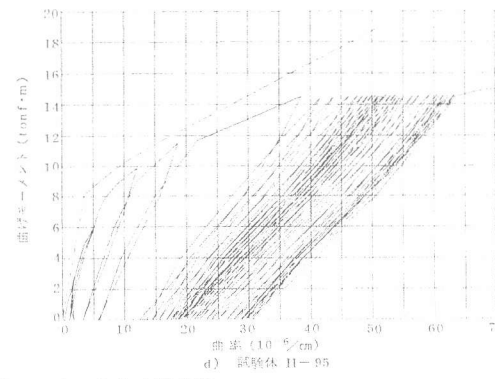
a) 試験体 H-S



b) 試験体 H-85



c) 試験体 H-90



d) 試験体 H-95

図-8 各試験体の曲げモーメント曲率関係図

表-3 実験結果 (曲げモーメントと曲率)

試験体 記号	M_r (tonf·m)	M_y (tonf·m)	M_r / M_y	M_{max} (tonf·m)	ϕ_y ($10^{-6}/cm$)	ϕ_u ($10^{-6}/cm$)
H-S	Static	15.5	Static	19.7	52	695
H-85	13.0	15.6	0.83	19.8	57	761
H-90	14.0	15.7	0.89	20.0	53	769
H-95	14.6	15.4	0.95	20.2	87	700以上

小さい場合、ひびわれ発生によって中立軸の急激な移動が生じ、曲げ剛性は急激に低下する傾向にあると考えられる。したがって、ひびわれ発生後のある範囲においては土木学会指針案¹⁾では曲げ剛性を大きく見積る傾向にあるのではないかと考えられる。

図-10は、繰返し荷重作用時のM- ϕ 曲線のピーク点の曲げ剛性変化を第1回目の曲げ剛性に対する比で表わしたものである。同図によれば、試験体H-85とH-90はほぼ一致した低下傾向を示すが、試験体H-95はそれ以上に低下率が大きい。 EI_{30}/EI_1 を求めると、試験体H-85とH-90では約80%、試験体H-95では約60%であった。

d)破壊時曲げモーメントと破壊時曲率

試験体4体の実験結果を表-3に示す。降伏曲げモーメント M_y はM- ϕ 曲線から求めたものであり、先打部の上段鉄筋(D10)もすでに降伏に達している。破壊は継手端近傍に生じたひびわれ断面での曲げ引張破壊であり、継手鉄筋に沿う付着割裂ひびわれは発生していない。また、降伏曲げモーメント、破壊時曲げモーメントは、各試験体で差異がなく、繰返しによる耐力低下はないと考えられる。

さらに、破壊時曲率についても繰返しによる低下はみられず、繰返し荷重作用を受けた試験体でも、試験体H-Sのじん性率13.4(=695/52)と同等のじん性を有しており、十分な曲げ性能を有している。

4. まとめ

本実験結果から、以下の事項が明らかとなった。

- ①本実験で使用した重ね継手形式においては、継手鉄筋に沿う付着割裂ひびわれが生じなかった。
- ②ひびわれ幅が仕切板部と継手近傍で一般部より少し大きくなるとはいえ、ひびわれ間隔はほぼ等間隔である。
- ③0.85~0.95 M_y の高応力繰返し後の残存耐力は静的耐力と同等である。破壊時曲率も静的加力の場合と同等であり、その値はH-S試験体のじん性率でいえば13.4に相当し、十分な曲げ性能を有している。

〔参考文献〕

1) 土木学会：“コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)”1983.11 2) ACI:ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE 1983.PART 3 3) CFB-FIP:CEB-FIP MODEL CODE FOR CONCRETE 1978. 4) 町田, 睦好：“鉄筋継手の性能が鉄筋コンクリート部材の静的曲げ挙動に及ぼす影響に関する研究”コンクリート工学 1983.4 5) 榎本・二羽・岡村：“重ね継手の集中度がRC梁の疲労強度に及ぼす影響”コンクリート工学第4回年次講演論文集 1982. 6) 太田・森田・和田：“重ね継手(D51)における離れの影響について”土木学会第35回 7) 土木学会：“鉄筋継手指針”1982.2

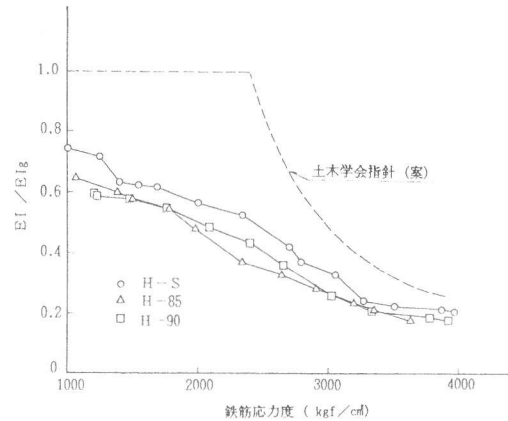


図-9 剛性と鉄筋応力度の関係

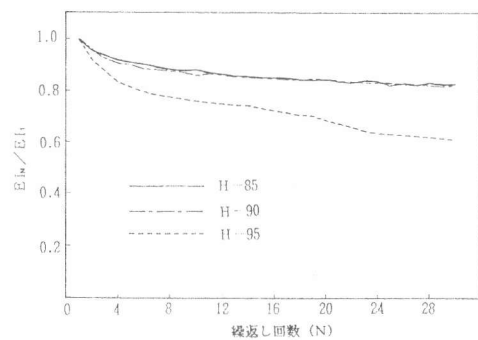


図-10 剛性の変化