

鉄筋間隔を有した重ね継手部の破壊性状 に関する実験的研究

EXPERIMENT STUDY ON BREAKING BEHAVIOR OF LAP JOINT WITH THE VERTICAL SPACE

齊藤 誠* 斎藤俊樹** 渡辺明之***

By Makoto SAITO, Toshiki SAITO and Akiyuki WATANABE

At the present, many parts are not made clear about the breaking behavior of lap joint with the vertical space. Therefore, to make clear the strength and the breaking behavior, we studied the results of the loading tests carried out on many specimens with various parameters.

The results show that the strength is greatly influenced by the point where the first crack appeared and is appraised by the bond stress of the upper reinforcing bar in the lap joint.

1. まえがき

地下連続壁に使用されるエレメント間の継手は、これまで各種の構造あるいは施工法が開発され、実用化されている。とくに本体基礎構造物としての地下連続壁では、エレメント間の鉛直方向の継手が、面内、面外方向の応力を負担する機能を必要とし、現在各種の剛結継手が考案されている。一般的には隣接するエレメントの鉄筋をラップさせる構造形式を取っているが、その条件として「地中連続壁基礎設計施工指針」((社) 日本道路協会)¹⁾では、水平鉄筋の重ね継手長さを 40ϕ (ϕ : 鉄筋径) 以上、さらに重ね合う水平鉄筋間隔を100mm (鉄筋の純間隔) 以下と設定している。さらに同指針では継手部の許容応力を一般部の許容応力度の80%に低減し、設計することとしているものの、このような鉄筋が間隔を有した場合の重ね継手構造の破壊メカニズムに関しては、未解明な部分が多い。

従来より、重ね継手の破壊メカニズムに関する研究は行われている。そうした過去の研究から、重ね継手は鉄筋と鉄筋を重ねた単純な構造であるにも関わらず、その強度に影響を与える因子はかなり多く、またこれらの因子は複合的に作用することが知られている。

一方、土木学会コンクリート標準示方書²⁾には、Orangun ら³⁾の実験式を基にした重ね継手強度に関する解説式が掲載されている。しかし、鉄筋が間隔を有した場合の重ね継手の強度を定式化したものではなく、現

* 東日本旅客鉄道㈱ 東京工事事務所 工事管理室 (〒151 東京都渋谷区代々木2-2-6)

** 東日本旅客鉄道㈱ 東京工事事務所 工事管理室 担当課長 (〒151 東京都渋谷区代々木2-2-6)

*** 東日本旅客鉄道㈱ 東京工事事務所 神奈川工事区 (〒221 神奈川県横浜市神奈川区東神奈川1丁目)

在の継手部分の設計が十分な裏付けのもととなされているとはいえない。

このような背景のもと、本研究は、鉄筋が間隔を有した場合の重ね継手の強度、並びにその破壊メカニズムを評価するために、各種のパラメータを変化させた供試体で載荷試験を行い、その結果について検討を加えたものである。

2. 試験概要

2-1. 供試体の概要

供試体は、図-1に示すような重ね継手構造を中心部に有した基本的なモデルであり、その一覧表を表-3に示す。今回の試験では、横方向補強筋の効果は考慮しなかったため、重ね継手部には補強筋を配筋せず簡略化したモデルで行った。また、試験では土留め壁としての地下連続壁を想定している点から、土圧が作用する方向を考慮し、鉄筋の離れを荷重が作用する方向（鉛直方向）に取ることにしている。

試験ケースの概要は、「重ね継手部の重ね鉄筋の長さ ℓ 」、「重ね継手鉄筋の鉛直間隔 s 」、「重ね継手水平鉄筋の純間隔 c （鉄筋の種類並びに本数）」の組み合わせとし、さらに上側鉄筋と下側鉄筋の中央位置を固定し、各パラメータを組み合わせたものを追加している。また、図-2は供試体の隅角部を示したものであり、水平鉄筋の純間隔 c 、並びに側面および底面からのかぶり c_1, c_2 は表-1のようになる。また、鉄筋は異形棒鋼SD 345を使用した。

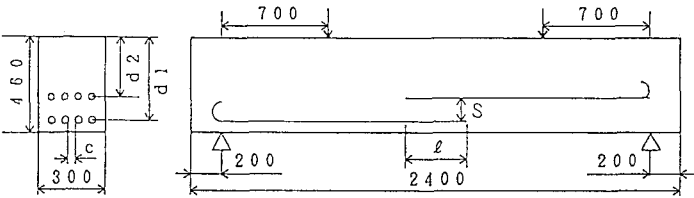


図-1 供試体の形状(概略図)
(スターラップは省略)

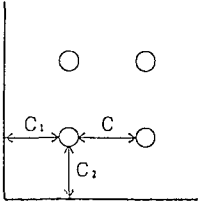


図-2 供試体の隅角部

表-1 鉄筋間隔 c と鉄筋のかぶり c_1, c_2

	C (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)
No 1~No 8 No 15~No 28	43.0	60.0	60.0
No 9~No 11	18.9	60.0	60.0
No 12~No 14	29.1	60.0	60.0

コンクリートは設計基準強度 240Kg f /cm 2 となるように配合した生コンクリートを使用した。コンクリートの示方配合を表-2に示す。また、実験時の圧縮強度を表-3に示す。

表-2 示方配合

粗骨材 最大寸 法(mm)	スラン プの範 囲(cm)	水セメント 比W/C (%)	細骨材 率s/a (%)	単 位 量 (Kg/m 3)				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	8 $\pm$ 2.5	46.4	41.5	161	347	756	1086	3.90

表-3 供試体の一覧表

供試体 No	鉄筋種類 一本数	d1 (cm)	d2 (cm)	継手長さ l (φ)	鉛直間隔 s (cm)	モルタル強度 (kgf/cm ²)	破壊荷重 P_{max} (tf)	破壊モーメント M_{max} (tf m)	破壊時のひびわれ (上側鉄筋) (kgf/cm ²)	破壊時のひびわれ (下側鉄筋) (kgf/cm ²)
1	D13-4	40	40	10	0	332	14.0	4.9	2428	712
2	D13-4	40	35	10	5	332	16.0	5.6	2541	1654
3	D13-4	40	30	10	10	332	18.9	6.6	3244	2513
4	D13-4	40	25	10	15	332	11.5	4.0	3757	2032
5	D13-4	40	40	15	0	319	20.8	7.3	3522	3398
6	D13-4	40	35	15	5	319	11.8	4.1	2745	236
7	D13-4	40	30	15	10	319	15.5	5.4	3047	2610
8	D13-4	40	25	15	15	319	10.4	3.6	31	199
9	D10-7	40	40	19.8	0	304	21.0	7.4	3750	3636
10	D10-7	40	35	19.8	5	304	17.2	6.0	2727	2144
11	D10-7	40	30	19.8	10	304	18.5	6.5	3267	2112
12	D13-5	40	40	16	0	278	22.0	7.7	2986	3086
13	D13-5	40	35	16	5	278	13.0	4.6	1944	820
14	D13-5	40	30	16	10	278	10.0	3.5	1752	103
15	D13-4	40	40	20	0	281	30.0	10.5	—	—
16	D13-4	40	35	20	5	281	17.4	6.1	3679	1419
17	D13-4	40	30	20	10	281	19.3	6.8	2353	1946
18	D13-4	40	25	20	15	281	12.7	4.4	66	1503
19	D13-4	32.5	32.5	10	0	326	18.5	6.5	1040	2058
20	D13-4	35	30	10	5	326	10.2	3.6	2384	370
21	D13-4	37.5	27.5	10	10	326	15.0	5.3	2175	1583
22	D13-4	32.5	32.5	20	0	317	26.9	9.4	—	—
23	D13-4	35	30	20	5	317	16.9	5.9	3555	2269
24	D13-4	37.5	27.5	20	10	317	20.4	7.1	—	1503
25	D13-4	40	40	30	0	277	32.0	11.2	—	—
26	D13-4	40	35	30	5	277	21.8	7.6	—	3100
27	D13-4	40	30	30	10	277	19.7	6.9	—	3512
28	D13-4	40	25	30	15	277	12.5	4.4	523	1704

— 降伏

2-2. 試験方法と測定項目

試験は、載荷能力100tfの静曲げ載荷装置を用い、2点載荷の純曲げ試験を行った。載荷は0.5tfピッチで供試体が破壊するまで載荷し、測定項目は、重ね鉄筋のひずみ、供試体の変位、載荷荷重、ひびわれ発生荷重、破壊荷重、供試体のひびわれ状況とした。

3. 試験結果と考察

全供試体の試験結果の中から、破壊荷重 P_{max} と、破壊荷重から計算した破壊モーメント M_{max} ($M_{max}=0.35P_{max}$)を表-3に示す。

3-1. ひびわれ発生と継手部の破壊状況

供試体に載荷する中で、ひびわれが発生してから重ね継手部が割裂破壊に至るまでの過程を供試体No.2を取り上げ、図-3に示すひびわれ模式図に従い、以下に説明する。

- (1) 重ね継手鉄筋のカットオフ付近から、ひびわれ(イ)が発生。(初期ひびわれ)
- (2) 重ね継手部の載荷点間にひびわれ(ロ)が発生。
- (3) 重ね継手部の上側鉄筋に沿って、付着ひびわれ(ハ)が発生。
- (4) 変位量に対する載荷荷重の増加量が減少。
- (5) 重ね継手に大きなひびわれ(ニ)が生じて重ね継手部が脆性的な破壊をした。

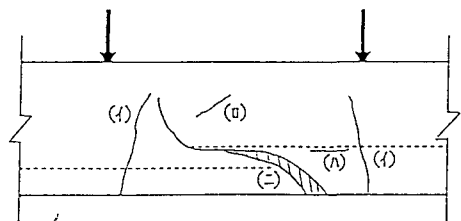


図-3 ひびわれ模式図
(供試体No. 2)

3-2. 鉄筋間隔を有した重ね継手の破壊メカニズムの検討

試験の載荷過程において、図-4に示すような鉄筋位置に上下両鉄筋にそれぞれ2箇所ひずみゲージを取り付け、そのひずみ量を計測した。

表-1に上下両鉄筋の計測位置における破壊時の応力度（最大値）を示す。

その中で、鉄筋が間隔を有した場合（鉛直間隔 s を有する場合）を取り上げ、結果を検討すると、破壊時には上側の鉄筋の方が下側の鉄筋に比べ、大きな応力を受けていることが分かるが、鉄筋間隔が15cm、かつ継手長さが15 ϕ 以上の場合は逆の傾向がみられ、さらに上側の鉄筋に働く応力も小さい値である。これは、鉄筋の間隔が15cmでは、鉄筋とコンクリートの付着力以上に上下鉄筋間に充填されたコンクリートのせん断強度が影響するものと考えられる。

さらに載荷荷重に対する上側鉄筋と下側鉄筋のひずみ量の履歴では、初期ひびわれが発生する荷重点において変化をみせる傾向があった。図-5は、供試体No.16における載荷モーメントと鉄筋ひずみ量の経過を示しているが、このように初期ひびわれ発生点において上側鉄筋のひずみ量が急激に増大する傾向をみせる。すなわち、初期ひびわれが発生するまでは、コンクリートと鉄筋の両方で応力を負担していたものが、初期ひびわれの発生により、それまでコンクリートが負担していた応力を上側鉄筋が負担するようになると解釈することができる。

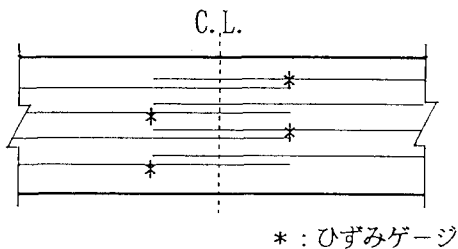


図-4 ひずみゲージ位置図

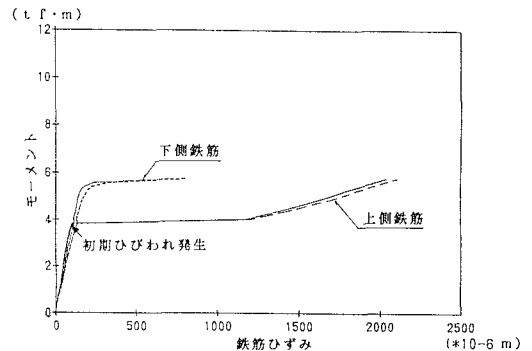


図-5 モーメントと鉄筋ひずみ量の関係

以上のようなコンクリートと鉄筋の応力負担の検討や、継手部の破壊形状から判断して、重ね継手部の破壊は、上側の異形鉄筋とその周面を囲うコンクリートとの付着割裂破壊でおこるものと考えられる。

現在、付着割裂強度の算定式は、前述のOrangunらの算定式や藤井・森田による算定式⁷⁾があり、いずれも大量の実験結果をもとに統計的に整理、評価した実験式である。

今回、鉄筋間隔が5cm、10cmの場合を取り上げ、試験結果をこの2式を用い、比較検討を行った。

検討を行うにあたり、定着長は図-6に示すように上側鉄筋の継手端部（カットオフ部）から初期ひびわれ発生箇所までと仮定した。

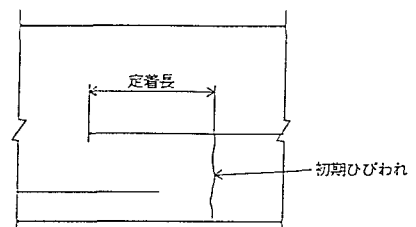


図-6 定着長の算出

この2式から算出した上側鉄筋の引張力計算値と、初期ひびわれ発生断面における上側鉄筋の引張力（表-3に示す破壊モーメントから応力度計算した結果を用い、算出）との関係を示したのが図-7、図-8である。この関係図からOrangunらの式（原式を使用）から求めた上側鉄筋の付着力計算値と今回の試験結果から求めた引張力との間にはかなりの相関性をみることができた。また、藤井・森田式との関係では付着力

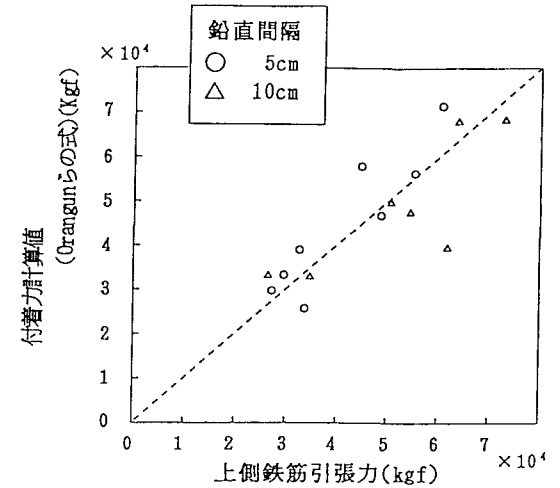
計算値の方が全般的に小さく評価されているが、これは藤井・森田式におけるSide split mode の付着割裂パターンでの強度の値が、Orangun らの式から求まる強度に対して、小さく評価されているためである。

この検討においては、定着長算出に必要な初期ひびわれの発生位置により大きく影響されてしまうため、その発生位置を各試験結果について検討したが、表－４に示すように継手長さ等との関連を評価することができなかった。しかし、発生位置は、下側鉄筋のカットオフ部もしくは外側であるため、設計に際してはカットオフ箇所初期ひびわれが発生するという仮定のもとで計算を行えば、ほぼ安全側の耐力を得ることができるものとする。

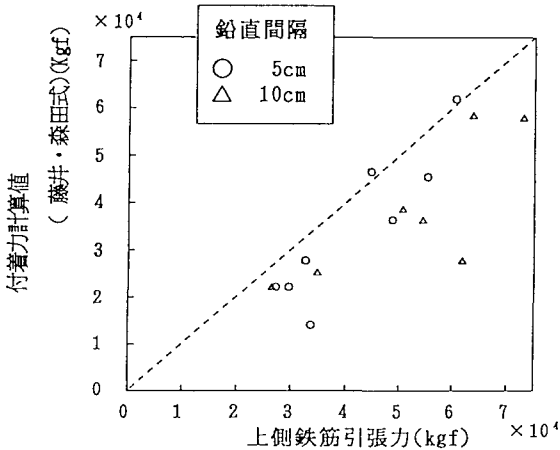
表－４ 初期ひびわれの発生箇所

供試体 No	継手長さ ℓ (cm)	L (cm)
2	12.70 (10φ)	10
3	12.70 (10φ)	9
4	12.70 (10φ)	9
6	19.05 (15φ)	0
7	19.05 (15φ)	7
8	19.05 (15φ)	0
10	18.87 (19.8φ)	7
11	18.87 (19.8φ)	13
13	20.32 (16φ)	-2
14	20.32 (16φ)	0
16	25.40 (20φ)	0
17	25.40 (20φ)	20
18	25.40 (20φ)	0
20	12.70 (10φ)	-2
21	12.70 (10φ)	13
23	25.40 (20φ)	8
24	25.40 (20φ)	20
26	38.10 (30φ)	12
28	38.10 (30φ)	-2

L：継手部端部（下側鉄筋のカットオフ部）から初期ひびわれ発生箇所までの長さ
 但し、No. 27 は上側鉄筋の定着破壊とは異なった破壊を起こしたため、除外した。



図－７ 付着力計算値（Orangun らの式）と上側鉄筋引張力の関係



図－８ 付着力計算値（藤井・森田式）と上側鉄筋引張力の関係

4. まとめ

今回の試験結果より以下のような結論を得た。

- (1) 鉄筋間隔が5cm や10cmを有した重ね継手において、今回のような荷重の作用方向と重ね鉄筋の離れの方向が等しく、補強筋等による対策が講じられていない場合には、その破壊耐力は初期曲げひびわれの発生位置により大きく影響される。また、破壊耐力は上側に配置した鉄筋の付着割裂強度でほぼ評価することができる。
- (2) また、その初期ひびわれは、重ね継手部より外側に発生することから、設計に際しては重ね継手の端部（カットオフ部）で初期ひびわれが発生するという仮定のもと、定着長を算出し、既存の付着割裂強度算定式を用いれば、ほぼ安全側の破壊耐力を得ることができる。
- (3) 上下鉄筋の離れが5cmの時、重ね継手長さを一定以上有した場合（今回の試験では15φ以上）、破壊時の上側鉄筋に働く応力度は小さく、鉄筋とコンクリートとの付着力よりも、鉄筋間に充填したコンクリートのせん断強度が大きく影響されるものと考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会編：地中連続壁基礎設計施工指針・同解説，1991.7
- 2) 土木学会編：コンクリート標準示方書（平成3年版）設計編，1986.11，pp.110-111
- 3) C.O.Orangun，J.O.Jirsa，J.E.Breen：A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices，ACI Journal，Title No.74-11，March 1977，pp.114-122
- 4) 藤井 栄，森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究－第2報 付着割裂強度算定式の提案－，日本建築学会論文報告集，第324号，1983.2，pp.45-53
- 5) 藤井 栄，森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究－第1報 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究，日本建築学会論文報告集，第319号，1982.9，pp.47-55
- 6) 三浦 尚，鈴木知洋：鉄筋の重ね継手強度における横方向鉄筋の効果について，土木学会論文集第378号，1987.2，pp.53-59
- 7) 渡辺明之：鉛直方向に間隔を有した鉄筋の重ね継手に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，1992，Vol.14，No.2，pp.95-100
- 8) 斉藤 誠，渡辺明之：鉛直方向に間隔を有した鉄筋の重ね継手強度に関する研究，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，1992.9，pp.820-821

(1992年 9月21日受付)