

重ね継手を有する梁部材の曲げ破壊性状

FAILURE BEHAVIOR OF RC BEAM MEMBER WITH LAP SPLICES

関口 司* 飯塚英之** 石橋忠良***

By Tsukasa SEKIGUCHI, Hideyuki IIZUKA, and Tadayoshi ISHIBASHI

In this study, bending and fatigue tests were carried by using RC beam specimens with relatively short lap splices length to know the governing factors on the strength of lap splices. The results showed that the influences of splice length, concrete strength and concrete cover upon the strength of lap splices were almost the same tendency estimated by the empirical equation in JSCE. In the fatigue tests with low repeated load, the specimens which had failed by splices in the bending tests were failed not by the fatigue of splices but by the fatigue of steel bars in them. And they had the fatigue strength of their own, independent to the splices length.

Keywords: precast, lap splices, RC beam member, fatigue

1. はじめに

今日の熟練労働者のみならず慢性的な人手不足の状況下では、建設工事の省力化は不可欠である。この省力化を進める上で構造物のプレキャスト化は、現場での作業を軽減し、また品質の安定化にも寄与するものである。しかし、プレキャスト部材は現場において接合しなければならず、その接合部の取扱いが難しい。接合の方法として現在行われている鉄筋の種々の継手方法の中で、重ね継手は溶接継手や機械式継手等よりも現場での複雑な施工を必要とせず、品質管理が容易であるなど有利であるが、その力学的性状は複雑で、影響を与える要因は多岐にわたっている。

この重ね継手強度に関する研究はこれまでに数多くなされており、継手強度に及ぼす影響因子として、重ね継手長、かぶりや鉄筋間隔、コンクリート強度、横補強筋などが主に取り上げられ、様々な検討が行われている。土木学会コンクリート標準示方書¹⁾においては、重ね継手長、コンクリートの圧縮強度、横方向補強筋ピッチなどの関数として、以下のような重ね継手強度に関しての式が示されている。

$$\sigma_{ss} = 4\sqrt{\sigma'_{ck}} \left[\frac{l_s}{\phi} \{0.318 + 0.795(\frac{c}{\phi} + \frac{15A_t}{s\phi})\} + 13.3 \right] \quad (\text{ただし } \frac{c}{\phi} \leq 2.5) \quad (1)$$

* 工修 東日本旅客鉄道(株) 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)

** 工修 東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 新潟工事区 (〒950 新潟県新潟市花園1-1-1)

*** 工博 東日本旅客鉄道(株) 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)

ここで σ_{ss} : 鉄筋の重ね継手強度 (kgf/cm²) σ'_{ck} : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)
 l_s : 鉄筋の重ね継手長 (cm) ϕ : 主鉄筋径 (cm) s : 横方向補強筋ピッチ (cm)
 c : 主鉄筋のかぶり、または $\frac{1}{2}$ 最小鉄筋間隔の小さい方 (cm)
 A_t : 横方向補強筋の総断面積を取り囲む主鉄筋の本数で除した面積 (cm²)

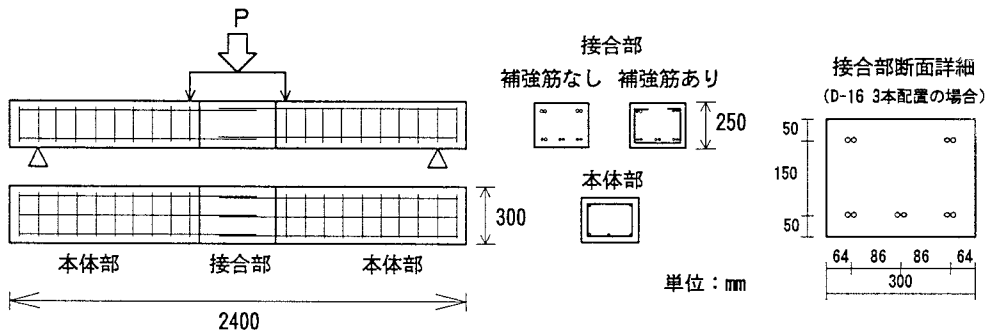
この式のもとになったOrangunらの式²⁾は、過去の一断面に重ね継手を集中させた62体の供試体の曲げ載荷試験結果より、非線形回帰分析によって導出されたもので若干安全側の値を与えるものである（62体の実測値／推定値の平均が1.07程度）。

本研究では、プレキャスト部材の現場接合を想定した場合に不可避となる、打継ぎ面が存在し、かつ一断面に重ね継手が集中する、継手長が比較的短い³⁾供試体において、重ね継手長、コンクリートの圧縮強度、かぶり、横方向補強筋量等が重ね継手強度にどのような影響を与えるかを検討してきた結果^{4),5)}をまとめ、さらに、鉄道構造物において問題となる疲労強度の特性について検討する。そのために、静的曲げ試験結果に対応して8体の供試体で、継手長と作用応力振幅を変えて疲労試験を行い、その結果を報告する。

2. 静的曲げ試験

2. 1 試験概要

供試体の形状及び載荷方法を図－1に示す。使用した鉄筋はSD295で降伏強度は3720kgf/cm²であった。供試体は本体部コンクリートを先打ちし、4日後にあらかじめ出しておいた主鉄筋を重ね継手として、膨張コンクリートにて接合部を後打ちした。接合部の膨張コンクリートは、膨張材のセメント量に対する置換率を10%として、打設後6日目に脱型した。本体部および接合部の配合を表－1に示す。打継ぎ面は凝結遅延剤



図－1 供試体形状および載荷方法

表－1 コンクリート配合

配合強度 (kgf/cm ²)	G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	CA/C (%)	単位量 (kg/m ³)					
							C	W	S	G	CA	EX
300 (本体部)	13	10±3	2±1	64.3	52	1.0	283	182	957	890	2.83	—
(接合部)	13	10±3	2±1	64.3	52	1.0	255	182	957	890	2.82	28.3
350 (本体部)	13	10±3	2±1	57.2	52	1.0	318	182	942	876	3.18	—
(接合部)	13	10±3	2±1	57.2	52	1.0	286	182	942	876	3.18	31.8
400 (本体部)	13	10±3	2±1	51.7	52	1.0	352	182	927	862	3.52	—
(接合部)	13	10±3	2±1	51.7	52	1.0	317	182	927	862	3.52	35.2

** CA: 高性能減水剤 早強セメント、岩瀬産山石砕砂、鬼怒川産玉石砕石を使用

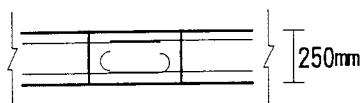


図-2 フック形状

と高圧水処理で目荒しを施した。また、継手部にフックを有するものは図-2に示すように、引張鉄筋のみを半円形フックとし、曲げ内半径を 2.5ϕ とした。横方向補強筋を配置する供試体は、図-1の“補強筋あり”に示すように主鉄筋をコの字形に囲むように配置した。載荷方法は、接合部コンクリートの外側での2点載荷とした。鉄筋およびコンクリートのひずみ、たわみ量、打継ぎ面の開き量などの測定を行った。鉄筋のひずみゲージの取付け位置を図-3に示す。

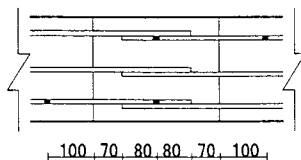
表-2に示す28体の供試体で静的曲げ試験を行った。重ね継手強度に影響を及ぼすと考えられる重ね継手長、コンクリート強度などの要因を個別に評価することを目的とし、各シリーズにおいては着目要因以外は一定の条件とした。

2. 2 静的曲げ試験結果

試験結果を表-3に示す。破壊のしかたとして、鉄筋が降伏する以前に破壊した継手破壊と引張鉄筋降伏による破壊である曲げ破壊に分けた。継手破壊を起こしたものの多くは、継手部の引張側鉄筋に沿ってコンクリートが付着割裂破壊を起こした。供試体No. 12、14、15では、重ね継手部のひび割れはさほど進行せず、継手部の引張鉄筋のひずみも降伏点には達していないが、コンクリートの打継ぎ面の開きが拡大して破壊に至った。また、フックを有するNo. 22~28の供試体では、鉄筋のひずみが降伏ひずみ前後にまで進展した後に継手部のコンクリートが付着割裂破壊を起こした。曲げ破壊を起こした供試体No. 6、7は、引張鉄筋降伏後に圧縮縁のコンクリートが圧壊した。

表中の M_{urdl} は一体梁と仮定した場合の終局曲げモーメントの計算値である。この計算の中では、鉄筋の降伏強度、コンクリートの圧縮強度は実測値を用い、圧縮側の鉄筋も有効であると考え、コンクリートの応力-ひずみ曲線は、土木学会コンクリート標準示方書¹⁾で示されている放物線と直線からなるモデルを用いた。また継手強度については、土木学会コンクリート標準示方書¹⁾で示されている式(1)により計算した値である。最大鉄筋ひずみは、破壊時の鉄筋ゲージのうちで最大となった値を示した。

◎ 継手長：10 ϕ D16-3本の場合



単位：mm

■ 鉄筋ゲージ

図-3 鉄筋ゲージ取付位置

表-2 静的曲げ試験供試体

番号	供試体種類	継手長 Ls (mm)	接合長 (mm)	載荷幅 (mm)	c/ ϕ	横方向補 強筋量(注)
1	350- 5(16*3)- 0- 0	80	200	400	1.75	
2	350- 7(16*3)- 0- 0	112	250	450	1.75	
3	350-10(16*3)- 0- 0	160	300	500	1.75	
4	350-11(16*3)- 0- 0	176	350	550	1.75	
5	350-12(16*3)- 0- 0	192	350	550	1.75	
6	350-14(16*3)- 0- 0	224	400	600	1.75	
7	350-15(16*3)- 0- 0	240	400	600	1.75	
8	300-10(16*3)- 0- 0	160	300	500	1.75	
9	400-10(16*3)- 0- 0	160	300	500	1.75	
10	400- 7(16*3)- 0- 0	112	250	450	1.75	
11	400- 7(16*4)- 0- 0	112	250	450	0.81	
12	400- 7(13*3)- 0- 0	91	200	400	2.46	
13	400- 7(13*4)- 0- 0	91	200	400	1.23	
14	400- 7(10*3)- 0- 0	70	200	400	3.60	
15	400- 7(10*4)- 0- 0	70	200	400	2.00	
16	300- 7(16*3)-13-75-2	112	250	450	1.75	1.109
17	300- 7(16*3)-10-75-2	112	250	450	1.75	0.656
18	300- 7(16*3)-10-50-3	112	250	450	1.75	0.981
19	300- 7(16*3)- 6-75-2	112	250	450	1.75	0.236
20	300- 7(16*3)- 6-50-3	112	250	450	1.75	0.353
21	300- 7(16*3)- 6-75-1	112	250	450	1.75	0.236
22	350- 5(16*3)- 0- 0 (Y)	80	200	400	1.75	
23	350- 7(16*3)- 0- 0 (Y)	112	250	450	1.75	
24	350-10(16*3)- 0- 0 (Y)	160	300	500	1.75	
25	400- 7(16*3)- 0- 0 (Y)	112	250	450	1.75	
26	400- 7(16*4)- 0- 0 (Y)	112	250	450	0.79	
27	300- 7(16*3)- 6-75-2(Y)	112	250	450	1.75	0.236
28	300- 7(16*3)- 6-50-3(Y)	112	250	450	1.75	0.353

凡例：300- 7(16*3)- 6-75-2(Y)

接合部コンクリート配合強度 300kg/cm² 重ね継手長 7 ϕ (7 $\times$ 16=112mm)

主鉄筋 D16-3本 横方向補強筋 D6-75mmピッチ、継手部に補強筋 2本配置

フックあり (Y)

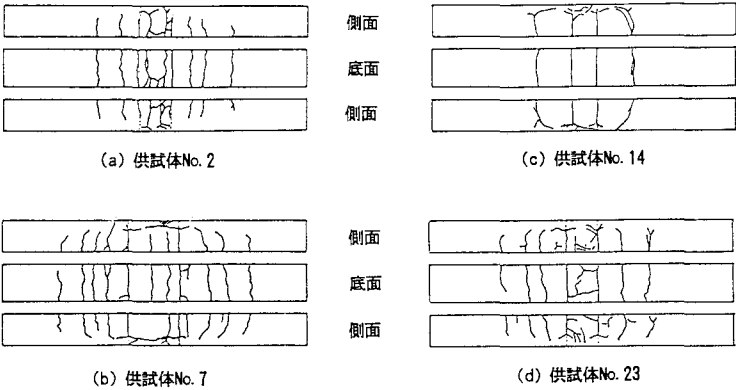
(注) 横方向補強筋量：15 $\cdot$ At/(s $\cdot$ ϕ)

表－3 静的曲げ試験結果一覧

番号	供試体種類	Mur (tf・m)	Murd (tf・m)	Mur Murd	最大鉄筋 歪(10 ⁻⁶)	鉄筋応力 (kgf/cm ²)	継手強度 (kgf/cm ²)	鉄筋応力 継手強度	破壊モード
1	378- 5(16*3)- 0- 0	2.34	4.36	0.57	360	756	1699	0.44	継手破壊
2	378- 7(16*3)- 0- 0	3.14	4.36	0.72	948	1991	1965	1.01	継手破壊
3	378-10(16*3)- 0- 0	3.71	4.36	0.85	1146	2407	2363	1.02	継手破壊
4	378-11(16*3)- 0- 0	3.80	4.36	0.87	1513	3177	2496	1.27	継手破壊
5	378-12(16*3)- 0- 0	4.15	4.36	0.95	1605	3371	2629	1.28	継手破壊
6	378-14(16*3)- 0- 0	5.27	4.36	1.21	7639	***	2895	***	曲げ破壊
7	378-15(16*3)- 0- 0	5.14	4.36	1.18	20284	***	3028	***	曲げ破壊
8	321-10(16*3)- 0- 0	2.96	4.23	0.70	1092	2293	2178	1.05	継手破壊
9	511-10(16*3)- 0- 0	4.67	4.61	1.01	1431	3005	2748	1.09	継手破壊
10	511- 7(16*3)- 0- 0	3.55	4.61	0.77	1214	2549	2285	1.12	継手破壊
11	511- 7(16*4)- 0- 0	3.63	5.79	0.63	1095	2300	1812	1.27	継手破壊
12	511- 7(13*3)- 0- 0	3.80	3.08	1.23	1495	3140	2642	1.19	継手破壊△
13	511- 7(13*4)- 0- 0	3.40	3.93	0.87	1471	3089	2023	1.53	継手破壊
14	511- 7(10*3)- 0- 0	2.64	1.79	1.47	1485	3119	2662	1.17	継手破壊△
15	511- 7(10*4)- 0- 0	3.25	2.29	1.42	1557	3270	2410	1.36	継手破壊△
16	321- 7(16*3)-13-75-2	2.40	4.23	0.57	696	1462	2254	0.65	継手破壊
17	321- 7(16*3)-10-75-2	2.48	4.23	0.59	720	1512	2072	0.73	継手破壊
18	321- 7(16*3)-10-50-3	2.87	4.23	0.68	841	1766	2202	0.80	継手破壊
19	321- 7(16*3)- 6-75-2	2.23	4.23	0.53	569	1195	1905	0.62	継手破壊
20	321- 7(16*3)- 6-50-3	2.62	4.23	0.62	786	1651	1951	0.84	継手破壊
21	321- 7(16*3)- 6-75-1	2.62	4.23	0.62	743	1560	1905	0.82	継手破壊
22	378- 5(16*3)- 0- 0 (Y)	4.00	4.36	0.92	2023	***	1699	***	継手破壊☆
23	378- 7(16*3)- 0- 0 (Y)	4.64	4.36	1.06	1312	2755	1965	1.40	継手破壊
24	378-10(16*3)- 0- 0 (Y)	5.04	4.36	1.16	1879	***	2364	***	継手破壊☆
25	511- 7(16*3)- 0- 0 (Y)	4.54	4.61	0.98	1859	***	2285	***	継手破壊☆
26	511- 7(16*4)- 0- 0 (Y)	5.93	5.79	1.02	1934	***	1801	***	継手破壊☆
27	321- 7(16*3)- 6-75-2(Y)	4.70	4.23	1.11	11573	***	1905	***	継手破壊☆
28	321- 7(16*3)- 6-50-3(Y)	4.59	4.23	1.09	2372	***	1951	***	継手破壊☆

(注) コンクリート強度は実測値を示す。

継手破壊△：最終的には打継ぎ面での開きの拡大によって破壊
継手破壊☆：鉄筋降伏後に継手部で付着割裂破壊



図－4 ひび割れ図

2. 3 供試体の破壊性状

図－4 (a)～(d)に接合部における特徴的なひび割れの発生状況を示す。(a)は供試体No. 2、重ね継手長7φのもので、主鉄筋に沿った水平方向のひび割れを生じ、典型的な継手部での付着割裂破壊を起こしたものである。(b)は供試体No. 7、重ね継手長15φのもので、一体梁としての曲げ破壊を起こしている。上部の圧縮縁コンクリートが圧縮鉄筋に沿ってひび割れを生じ圧壊した。(c)は打継ぎ面の開きが拡大して破壊に至った供試体No. 14のもので、接合部コンクリートのひび割れは進展していないことがわかる。(d)はフックによる定着をした供試体No. 23で継手長は7φである。フックのない場合の付着割裂破壊とは異なり、割裂部のコンクリートが下側に押し出されるのではなく側面が膨れ上がるような形で破壊に至った。

2. 4 重ね継手強度に対する各要因の影響

試験によって得られた結果を土木学会コンクリート標準示方書での式(1)で取りあげている要因ごとに分類して、推定式により計算される継手強度の値と比較する。また、重ね継手長、接合部コンクリートの圧縮強度の影響の検証においては、藤井・森田の式⁶⁾

$$\tau = \{0.307 \left(\frac{b}{N d_b} - 1 \right) + 0.427\} \sqrt{F_c} \quad (\text{破壊モードはside split mode、横補強鉄筋なし}) \quad (2)$$

ここで τ : 付着強度 (kgf/cm²)

d_b : 主鉄筋径 (cm) b : 梁幅 (cm)

N : 主鉄筋本数 (本) F_c : コンクリート強度 (kgf/cm²)

による計算値もあわせて示す。

(1) 重ね継手長の影響

重ね継手長のみを変化させた供試体 (No. 1～No. 7) のうち、鉄筋降伏以前に付着割裂破壊を起こした供試体の重ね継手長と継手強度の関係を図-5に示す。重ね継手長が増加すると継手強度も増加している。

(2) 接合部コンクリートの圧縮強度の影響

継手長10φでコンクリート強度が異なる供試体 (No. 3、8、9) および過去における同様の試験結果⁷⁾のうちの2体のデータにおける、コンクリート強度と継手強度の関係を図-6に示す。実験値は計算値同様コンクリート強度が増加すると継手強度も増加するという傾向を示している。

(3) c/ϕ の影響

c/ϕ と継手強度の関係を図-7に示す。 c/ϕ が大きくなると継手強度も大きくなり、実験値は計算値と同様な傾向を示している。図中△印で示した供試体 No. 12、14、15は、最終的に打継ぎ面での開きが拡大して破壊したと考えられる供試体である。これら3体は、強度的にも一体梁として計算した結果と比較して (表-2) 1.23～1.47倍の強度となったことから考えると、 c/ϕ の値が大きいため、継手部の鉄筋とコンクリートの付着が切れた後もかぶりコンクリートが剥落せず、さらに変形が進み、弱点である打継ぎ面での開きの拡大によって破壊に至ったと推定される。

(4) 横方向補強筋の影響

横補強鉄筋量と継手強度の関係を図-8に示す。横方向補強筋を配置したことによる効果は認められな

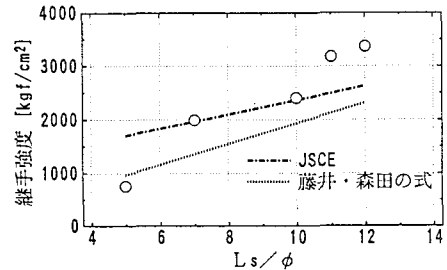


図-5 重ね継手長との関係

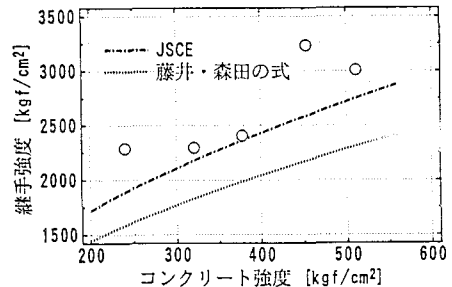


図-6 コンクリート強度との関係

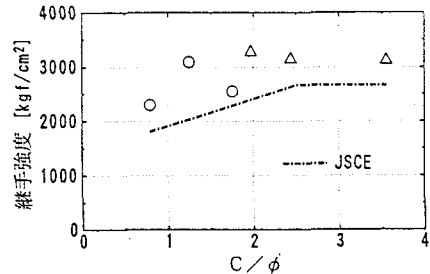


図-7 C/ϕ の関係

かった。本試験では継手長が7φと短いため、横補強筋が有効に働く以前に継手部の破壊が起こってしまい、横補強効果よりも補強筋配置による見かけ上の主鉄筋とコンクリートとの付着長の減少の方が、大きかったものと推測される。今後継手長が極端に短い場合には、横補強筋の荷重分担のしかたなど検討が必要であると考えられる。

(5) 継手部のフックの影響

フックの有無による曲げ耐力の比を重ね継手長ごとに整理したものを図-9に示す。フックにより定着した場合はフックのない場合と比較していずれの場合も曲げ耐力が向上しており、その効果は重ね継手長が短いものほど大きくなる傾向にある。また、図-10に示したようにフックによる定着を行った供試体は、概ね7φ以上の継手長であれば一体梁として計算した曲げ破壊耐力とほぼ同等な耐力を有しており、重ね継手長が短くても強度的には良好な継手となっていることがわかる。ただし、鉄筋のひずみが降伏点前後まで進行した後に、継手部でコンクリートが付着割裂破壊を起こした。

3 疲労試験結果

3. 1 試験概要

静的曲げ試験の結果を踏まえ、疲労試験を行う供試体として静的曲げ試験供試体の No. 2、3、5、7を選定した。これらの供試体は横方向補強筋・フックなしでコンクリートの設計基準強度：350 kgf/cm²、使用鉄筋：D16-3本、重ね継手長7φ～15φである。

疲労試験は静的曲げ試験と同様2点載荷で、載荷の周波数2Hzで荷重制御により行った。振幅荷重の上限值は原則として、あらかじめ設定した荷重としたが、1サイクル目の静的載荷時の鉄筋ひずみの測定値を参照しながらその都度決定した。

3. 2 結果

疲労試験の結果を表-4に示す。今回の実験に用いた供試体は静的曲げ試験において、継手長12φ以下のものは継手部でコンクリートの付着割裂破壊、継手長15φのものは鉄筋の降伏による曲げ破壊を起こしたものである(表-3)。継手長10φの供試体、12φの供試体のいずれも、疲労試験時の応力振幅が大きい場合にはコンクリートの付着割裂で、応力振幅が小さい場合には鉄筋の疲労破断でそれぞれ破壊している。継手長15φの供試体は静的曲げ試験同様、鉄筋の破断で破壊した。

破壊性状を図-11に示す。付着割裂破壊した2体はいずれも、継手端部両端付近から発生したひび割れが鉛直方向に伸び、引張鉄筋に沿って水平に進行してつながり、その部分のコンクリートが剥落している。鉄

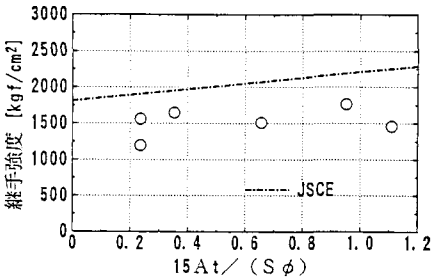


図-8 横補強鉄筋量との関係

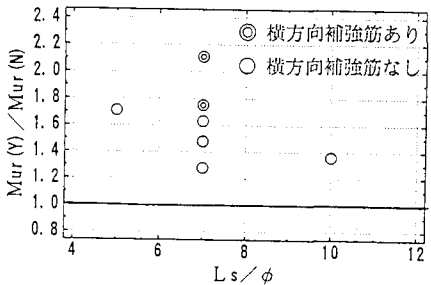


図-9 フックの影響

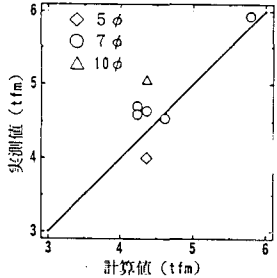


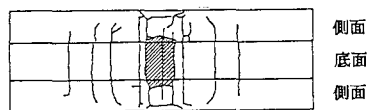
図-10 曲げ破壊強度(フックあり)

表-4 疲労試験結果一覧

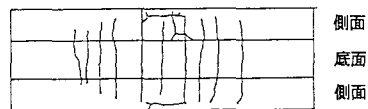
継手長	振幅応力(kgf/cm ²)		静曲げ比* (%)	繰り返し 回数(回)	破壊状況
	上限	下限			
7φ	2036	470	68	3,500,000	破壊せず。
10φ	3192	319	91	46,692	接合部コンクリートの割裂破壊。
10φ	2889	524	83	1,802,852	接合部一側面は、圧縮鉄筋に沿ってひびわれが発生し、引張鉄筋1本破断。他方はコンクリートの割裂。
10φ	2570	437	73	2,562,000	破壊せず。
12φ	3310	467	84	4,950	接合部のコンクリートの割裂破壊。
12φ	2865	427	73	1,303,000	圧縮鉄筋に沿って水平方向のひびわれが発生。引張鉄筋3本破断
12φ	2758	368	70	590,600	打継ぎ目付近で引張鉄筋2本破断。
15φ	3256	391	67	548,000	打継ぎ目付近で引張鉄筋1本破断。

静曲げ比* : 静曲げ試験における曲げ強度の実測値に対する上限荷重の割合

筋の疲労破断で破壊したものは4体中3体までが図-11に示したように、打継ぎ面で生じた開きが上方へ進行していく、最終的に引張側鉄筋が破断した。



◎付着割裂破壊



◎鉄筋疲労破断

図-11 ひび割れ図

3. 3 考察

鉄筋の疲労で破壊したケースについては、疲労試験時の応力振幅をGoodman線図を用いて完全片振り時の鉄筋自体の疲労強度Sに修正し⁸⁾、繰り返し回数Nとの関係を図-12に示す。鉄道構造物等設計標準・同解説、コンクリート構造物⁹⁾で示されている式

$$f_{sro} = \frac{10\alpha}{N^k} \quad \text{ただし} \quad \begin{cases} \alpha = 4.10 - 0.003\phi & (\phi = 16\text{mm}) \\ k = 0.12 \end{cases} \quad (3)$$

および、過去の実験データによる平均値⁸⁾と比較すると、これらの式より安全側の値となっていることがわかる。これより、付着割裂破壊を起こさず、鉄筋の疲労で破壊するものについては、継手無しの一様梁と同等に疲労強度および繰り返し回数を評価できると考えられる。

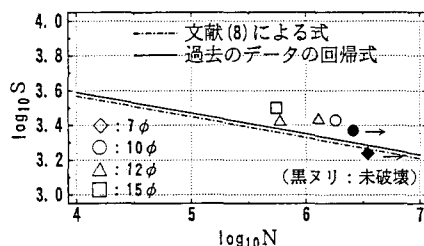


図-12 S-N線図

4. まとめ

一断面に重ね継手が集中し、継手部の両端に打継ぎ目を有する本構造部材の曲げ破壊性状について、得られた主な結果を以下に示す。

- 1) 継手強度に及ぼす重ね継手長の影響、コンクリートの圧縮強度の影響、かぶりの影響は、土木学会コンクリート標準示方書に示されている式により計算される値と同様な傾向を示す。
- 2) 重ね継手長が短い場合には、継手強度に及ぼす横補強鉄筋の補強効果は認められなかった。

- 3) 継手部にフックを有する場合は、10φ以下という短い継手長でも一体梁と同程度の静的曲げ強度を有していた。
- 4) 疲労試験において鉄筋の疲労で破壊した供試体は、継手長の長短に関わらず鉄筋自体の疲労強度を有しており、一体梁と同等に疲労強度を評価できる。
- 5) 静的に継手破壊を起こした供試体は、疲労試験においても応力振幅が大きい場合には付着割裂で破壊するが、小さい場合には鉄筋の疲労破断で破壊した。

参考文献

- (1) 平成3年制定コンクリート標準示方書（設計編）、土木学会、1991年
- (2) Orangun,C.O.,Jirsa,J.O.and Breen,J.E. : A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices、ACI Journal, Proc. Vol.74, Mar.1977.
- (3) 角陸純一、田中礼治：異形鉄筋重ね継手に関する既往実験データの分析、日本建築学会論文報告集第435号、1992. 5.
- (4) 飯塚英之、鎌田則夫、古谷時春：重ね継手を有する部材の疲労試験、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、1992.
- (5) 高木淳、古谷時春、石橋忠良：一断面に重ね継手を集中させた梁の破壊性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol14、No. 2、1992.
- (6) 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.
- (7) 高木淳、石橋忠良、古谷時春、海野隆哉：一断面に重ね継手を集中した場合の継手強度に関する実験的研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、1991.
- (8) 石橋忠良、大坪正行、青木桂一：コンクリート構造物の疲労設計（1）、構造物設計資料No. 70、日本鉄道施設協会、1982. 6
- (9) 鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物、丸善株式会社、1992. 10.
- (10) 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.
- (11) 斉藤誠、斉藤俊樹、渡辺明之：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、構造工学論文集 Vol. 39A、1993. 3.

（1993年9月16日受付）