

プレキャストRC床版ループ鉄筋重ね継手の強度、および疲労に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDIES ON THE ULTIMATE STRENGTH AND FATIGUE STRENGTH OF A PRECAST RC-SLAB WITH A LAP SPLICE JOINT USING LOOP-SHAPED REINFORCING BARS

中井 博*、川口 昌宏**、柳沼 善明***、阪野 雅則****、鍵和田 功*****

Hiroshi NAKAI, Masahiro KAWAGUCHI, Yoshiaki YAGINUMA, Masanori SAKANO and Isao KAGIWADA

*工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

**工博 元日本大学教授 理工学部交通土木工学科 (平成6年1月逝去)

***工博 日本大学助教授 理工学部交通土木工学科 (〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

****工修 松尾橋梁株式会社 技術研究室 (〒276 千葉県八千代市大和田新田686-3)

***** 松尾橋梁株式会社 技術研究室 (〒276 千葉県八千代市大和田新田686-3)

This paper presents experimental studies on the ultimate strength and fatigue strength of a precast RC-slab with a lap splice joint using loop-shaped reinforcing bars. First, experimental studies are conducted by using various types of RC-beam models in order to know the required lap length of loop-shaped reinforcing bars. Second, additional tests on punching shear strength and fatigue strength of the precast RC-slab are carried out by using full-scaled slab models in order to investigate load-carrying capacity and fatigue strength of the most desirable type of joint determined by the above-mentioned studies. These results are detailed herewith.

Key Words: precast RC-slab, lap splice joint, loop-shaped reinforcing bar, punching shear strength, fatigue strength

1. まえがき

近年、現場における建設技能者不足や工期短縮、あるいは環境保全のための木製型枠材の消費削減などの理由で、鋼道路橋においては、従来の現場打ち鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版と称する）に代わるプレハブ床版の開発が要請されている。プレハブ床版の一つとして、プレキャストRC床版が挙げられる。この床版の場合、床版パネル相互の接合法の開発が重要なポイントとなる。

プレキャストRC床版パネルの橋軸方向の接合法としては、プレストレスを与える方法と与えない方法とがある¹⁾。前者は、ポストテンション方式を用い、各パネルを導入プレストレス力によって橋軸方向に一体化させる方法である。この方法は、現場における継目部の施工を容易ならしめ、また十分な耐久性をもつ¹⁾ことから、わが国で、多く採用されてきている。

一方、後者は、床版パネル間の継手部に現場打ちコンクリートやモルタルなどを打設して一体化を図る方法である。この接合法の特長は、現場における面倒なプレストレス導入の作業が省け、現場における施工が単純なうえ、前者に比べて経済的になるという利点がある。この接合法の一つとして、図1に示すループ鉄筋重ね継手を

用いた接合法があり、欧米においては、しばしば採用されてきている¹⁾。しかし、わが国においては、この種の継手に関する設計・施工指針が全く整備されておらず、採用実績もわずか数例あるのみである²⁾。

ところで、道路橋のRC床版のように、荷重（輪荷重）が小区間に集中して作用するとき、ほとんどの場合、RC床版は曲げ破壊が起らず、押抜きせん断が卓越して破壊に至ることが明らかにされている。通常、道路橋示方書³⁾にしたがって設計されたRC床版の押抜きせん断耐荷力は、設計荷重の5～6倍以上もの押抜きせん断耐荷力を保有する⁴⁾。そのため、一般に、押抜きせん断に対す

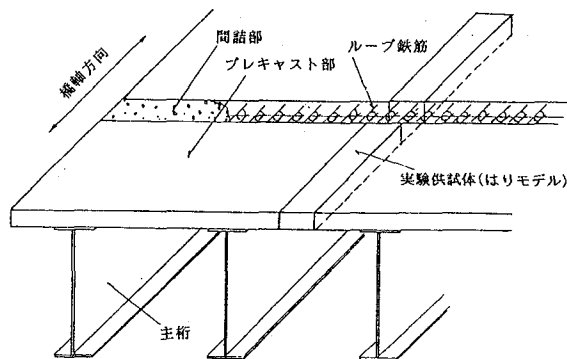


図1 プレキャスト床版の概略図

る照査は行っていない。しかしながら、このようなループ鉄筋による重ね継手を有するプレキャスト床版の場合、鉄筋による継手が床版パネル間の一断面に集中して存在し、さらに現場打ちコンクリート(間詰部コンクリート)を打設して一体化が図られているため、継手部が、強度的に弱点となる可能性もある。そのため、プレキャストRC床版継手の押抜きせん断耐荷力を調べ、継手部以外の一般部と同等の押抜きせん断耐荷力を有しているか否かを確認しておく必要がある。

さらに、近年、数多く報告されている道路橋RC床版の損傷は、周知のとおり、繰返し輪荷重による疲労に起因していることが明かである⁵⁾。したがって、上述の押抜きせん断耐荷力が十分に確保された上で、さらに、継手部の疲労に対する耐久性を、念のために確認しておく必要もある。

これらのことより、今後、ループ鉄筋重ね継手をプレキャストRC床版の継手に採用するに際しては、押抜きせん断耐荷力、疲労に対する耐久性、施工性などのあらゆる面から、継手の合理的な構造形式を探っていくことが不可欠である。

そこで、本研究では、まず、はりモデルの供試体によるループ鉄筋重ね継手の静的破壊実験を行い、同継手の曲げ、およびせん断に対する静的強度を明らかにし、合理的な継手長、および構造形式を調べた。

そして、実験結果より、これらのループ鉄筋重ね継手のうち最適な継手を有する実物大の床版供試体を製作し、静的押抜きせん断破壊実験を行い、継手部の静的荷重に対する安全性の確認を行った。同時に、定点繰返し載荷実験を行い、耐疲労性についても考察した。

2. はりモデルの静的破壊実験

2.1 力学的特徴

通常使用される直鉄筋の重ね継手は、鉄筋とコンクリートとの付着力による力の伝達を期待している。すなわち、図2(a)に示すように、鉄筋に引張力が作用する場合、鉄筋間の引張力はコンクリートとの付着力を介して、それぞれの鉄筋に伝達される。そのため、十分な重ね継手長が確保されていない場合は、所要の強度が得られない。道路橋示方書では、必要な鉄筋の重ね継

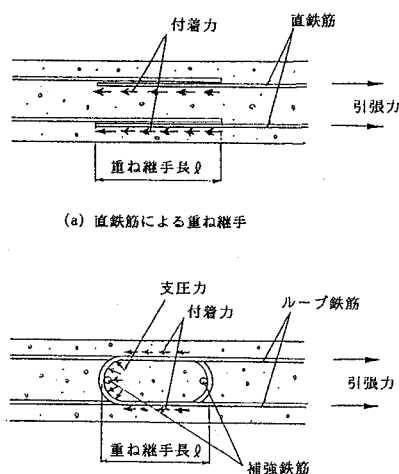


図2 鉄筋の重ね継手

手長は、式(1)、ならびに式(2)を満足する継手長 ℓ_s 以上を確保するものとしている。

$$\ell_s = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{0a}} \phi \quad \text{----- (1)}$$

$$\ell_s = 20\phi \quad \text{----- (2)}$$

ここに、

ℓ_s : 付着応力度より算出する重ね継手長(cm)

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度(kgf/cm²)

τ_{0a} : コンクリートの許容付着応力度(kgf/cm²)

ϕ : 鉄筋の直径(cm)

一方、ループ鉄筋重ね継手の場合、上述の付着力に加え、図2(b)中に示す支圧力も働く。そのため、通常を重ね継手よりも、継手長を短くすることが可能となる。また、ループ鉄筋内側に同図に示すように横方向に補強鉄筋を配置すれば、コンクリートに作用する支圧力が分散されるため抵抗力が増大し、さらに有利な構造となることも期待される。

2.2 実験方法と供試体

図1に示したように、ループ鉄筋重ね継手(ここでは、床版の配力筋の継手に用いる)を有するプレキャスト床版をコンクリートばりにモデル化し、実験供試体とした。そして、図3に示すように、曲げ破壊実験に対しては、継手部に曲げモーメントが生じるように、また、せん断破壊実験に対しては、せん断力が生じるように載荷した。なお、曲げ破壊実験、および、せん断破壊実験に用いる供試体を以下、それぞれ曲げ供試体、およびせん断供試体と呼ぶ。

図3には、供試体の配筋図を示す。供試体断面は23cm×26cm(供試体MA1c、MB1c、およびSNcは、23cm×23cm)の矩形断面とした。ここで、供試体の高さ23cmは、道路橋示方書による床版支間長 $L=3.0$ mを有する単純版の最小版厚 $T=4L+11=23$ cm

$$\text{----- (3)}$$

に対応させている。ループ鉄筋(D16, SD295)は、2組(計4本)配筋し、継手部以外でせん断破壊しないように、スターラップ(せん断補強鉄筋(D10, SD295))を10cmピッチで配した。なお、ループ部の曲げ半径は52mmとし、道路橋示方書に規定されている最小曲げ半径($2.5\phi=40$ mm)を満足させた。また、はり側面の表面からの鉄筋のかぶりは60mmとし、上述のループ鉄筋の支圧力に起因するループ面の直角方向の割裂力による縁端部剥離を防止するための必要かぶり($3\phi=48$ mm)⁶⁾を確保した。

供試体の種類は、曲げ破壊実験、およびせん断破壊実験のいずれに対しても、表1に示すように、ループ鉄筋の重ね継手長 ℓ を320mm(20ϕ)、および240mm(15ϕ)とし、それぞれループ内に補強鉄筋(D16, SD295)の有するものと有しないものとした。プレキャスト部には普通コンクリートを用い、4週間の養生を行った後、間詰部には膨張材を混入した早強コンクリートを打設した。プレキャスト部コンクリートの打継面は、あらかじめ型枠に凝結

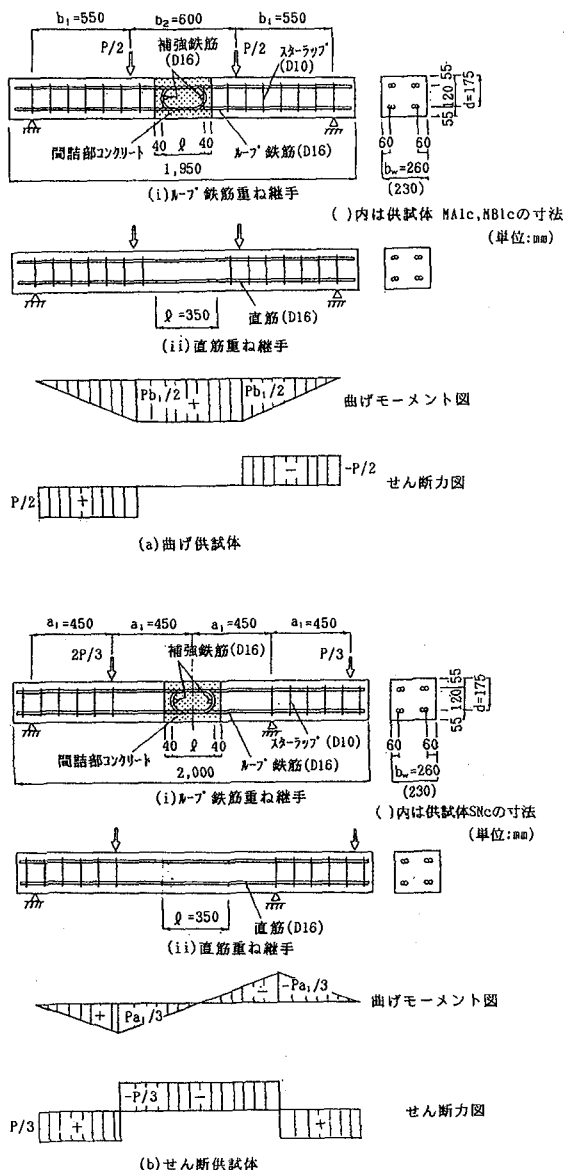


図3 供試体の配筋図と断面力図

遅延剤を塗布し、型枠脱型後に洗い出しによる粗面処理を行い、間詰部コンクリートとの付着を良好にした。また、終局耐荷力を比較し、ループ鉄筋の重ね継手の安全性を確認するために、ループ鉄筋の重ね継手を有する供試体の他に、道路橋示方書にしたがう通常の直鉄筋の重ね継手を有する供試体も製作し、同様の実験を行った。同供試体の鉄筋の重ね継手長は、式(1)、および(2)より、 $\ell=350\text{mm}$ とし(ここで、コンクリートの設計基準強度を $\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ 、コンクリートの許容付着応力度を $\tau_{0a}=16\text{kgf/cm}^2$ 、また、鉄筋の許容引張応力度を $\sigma_{sa}=1,400\text{kgf/cm}^2$ としている)、普通コンクリートを一体打ちし、間詰部を設けていない。

2.3 実験結果

(1) 終局荷重

表1には、各供試体の終局荷重 P_u の実験値、お

よび計算値を示す。 P_u の計算値は、圧縮試験より得られた同表中に示すコンクリートの圧縮強度(σ_{c1} :プレキャスト部コンクリートの圧縮強度、 σ_{c2} :間詰部コンクリートの圧縮強度)、および試験結果より得られた鉄筋(D16)の降伏点 $\sigma_y=3,450\text{kgf/cm}^2$ を用い算出した。なお、せん断破壊実験に対する計算値は、文献7)の方法によって算出した。

表1より、曲げ破壊実験における P_u の実験値は、すべて計算値を上回っている。しかし、重ね継手長が短く(重ね継手長 $\ell=240\text{mm}$)、かつ補強鉄筋を有しない供試体MB1aおよびMB1cの場合、終局耐荷力は通常の直鉄筋継手を有するMNa、およびMNbと比較して、若干下回ることがわかった。

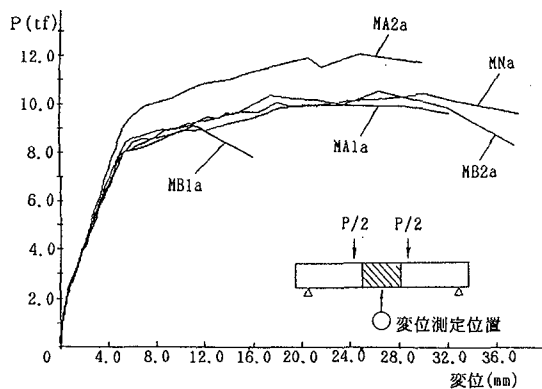
一方、せん断破壊実験の場合、重ね継手長が短く、かつ補強鉄筋の配筋されていない供試体SB1aのみが、計算値より小さくなった。しかし、その他は計算値を上回り、直鉄筋の重ね継手を有するSNa、およびSNbとほぼ同程度の終局耐荷力を有することがわかった。

(2) 荷重と変位との関係

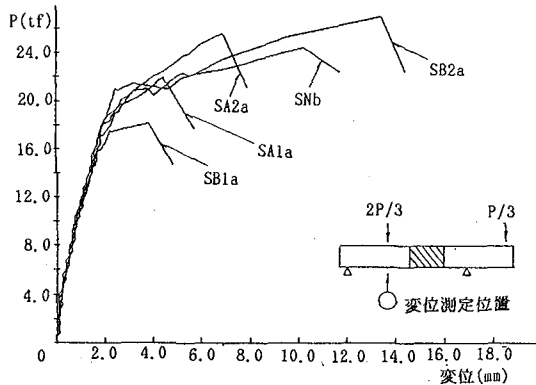
図4には、荷重と変位との関係を示す。この図より、曲げ破壊実験の場合、重ね継手長の短い(重ね継手長 $\ell=$

表1 供試体の種類とコンクリートの圧縮強度、および終局荷重

供試体の種類		鉄筋の継手長 ℓ (mm)	継手形状 (単位:mm)	圧縮強度 (kgf/cm^2)		終局荷重 P_u (tf)			①	①
				プレキャスト部 σ_{c1}	間詰部 σ_{c2}	実験値 ①	計算値		②	③
							② σ_{c1}	③ σ_{c2}		
曲げ供試体	HA1	a		344	342	10.17	8.27	8.27	1.23	1.23
		b		293	392	12.93	8.19	8.33	1.57	1.55
		c		284	290	10.80	8.11	8.12	1.33	1.33
	HA2	a		344	342	12.25	8.27	8.27	1.48	1.48
		b		293	392	11.95	8.19	8.33	1.45	1.43
		c		284	290	8.68	8.27	8.12	1.05	1.07
	MB1	a		344	342	9.25	8.27	8.27	1.12	1.12
		b		293	392	11.28	8.19	8.33	1.37	1.35
		c		284	290	8.68	8.27	8.12	1.05	1.07
	MB2	a		344	342	10.70	8.27	8.27	1.29	1.29
		b		293	392	10.78	8.19	8.33	1.32	1.29
		c		284	290	8.68	8.27	8.12	1.05	1.07
MN	a		344	—	10.58	8.27	—	1.28	—	
	b		293	—	10.98	8.19	—	1.33	—	
	c		284	—	10.98	8.19	—	1.33	—	
せん断供試体	SA1	a		341	440	22.08	17.15	18.67	1.29	1.18
		b		341	440	22.45	17.15	18.67	1.31	1.20
		c		341	440	22.45	17.15	18.67	1.31	1.20
	SA2	a		341	440	25.77	17.15	18.67	1.50	1.38
		b		339	494	27.03	17.11	19.40	1.58	1.39
		c		339	494	27.03	17.11	19.40	1.58	1.39
	SB1	a		341	440	18.25	17.15	18.67	1.06	0.98
		b		339	494	24.62	17.11	19.40	1.44	1.27
		c		339	494	24.62	17.11	19.40	1.44	1.27
	SB2	a		341	440	27.13	17.15	18.67	1.58	1.45
		b		339	494	23.37	17.11	19.40	1.37	1.20
		c		339	494	23.37	17.11	19.40	1.37	1.20
SN	a		341	—	25.53	17.15	—	1.49	—	
	b		341	—	25.27	17.15	—	1.47	—	
	c		292	—	19.28	16.28	—	1.18	—	



(a) 曲げ供試体



(b) せん断供試体

図4 荷重と変位との関係

240mm)供試体MB1aは変位の急増後間もなく破壊したが、その他の供試体は靱性が大きいことがわかる。また、いずれの供試体も、曲げ圧縮破壊ではなく、引張側の鉄筋が降伏域まで達して破壊する曲げ引張破壊を起こした。なお、供試体の引張鉄筋比は0.9%で、つり合い鉄筋比4~6%より小さく、計算上、曲げ引張破壊を起こす。

せん断破壊実験については、供試体SB1aの場合、変位の急増後、間もなく破壊に至っている。しかし、その他の供試体の場合、変位の急増後から破壊するまで、かなり余裕があるようである。

(3) 荷重と鉄筋ひずみとの関係

図5には、曲げ破壊実験の供試体MB1a(重ね継手長 $\ell=240$ mm)、およびMB2b(重ね継手長 $\ell=240$ mm、補強鉄筋)の荷重と打継目近傍におけるループ鉄筋(引張側)ひずみとの関係を示す。この図より、補強鉄筋の有する供試体MB2bの場合、終局荷重の約80%で急激に引張ひずみが増大し、

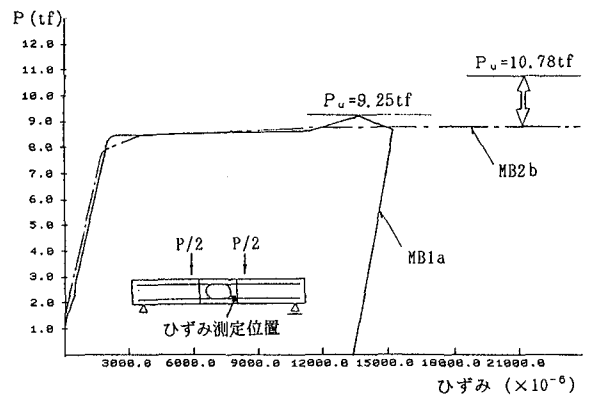


図5 荷重と鉄筋ひずみとの関係

その直後、著しく大きいひずみが発生して計測不能となった。しかし、供試体の靱性は大きく、破壊するまでに、かなりの余裕がある。これは、ループ鉄筋が降伏点に達して、ひずみが増大し、その後、荷重の増加とともに、ひずみ硬化域にまで達したためであると考えられる。一方、補強鉄筋を配筋していない供試体MB1aの場合、ループ鉄筋の引張ひずみの急増後(終局耐荷力の約95%)、まもなく破壊に至った。これは、鉄筋がひずみ硬化域に入る以前に破壊したものと推測される。

(4) 破壊状況

図6には、供試体側面の破壊後のひびわれ状況を示す。これらの図より、以下のことがわかる。まず、曲げ破壊実験の場合、ループ鉄筋の重ね継手長が長い($\ell=320$ mm)供試体MA1a、およびMA2bは、直鉄筋の重ね継手を有する

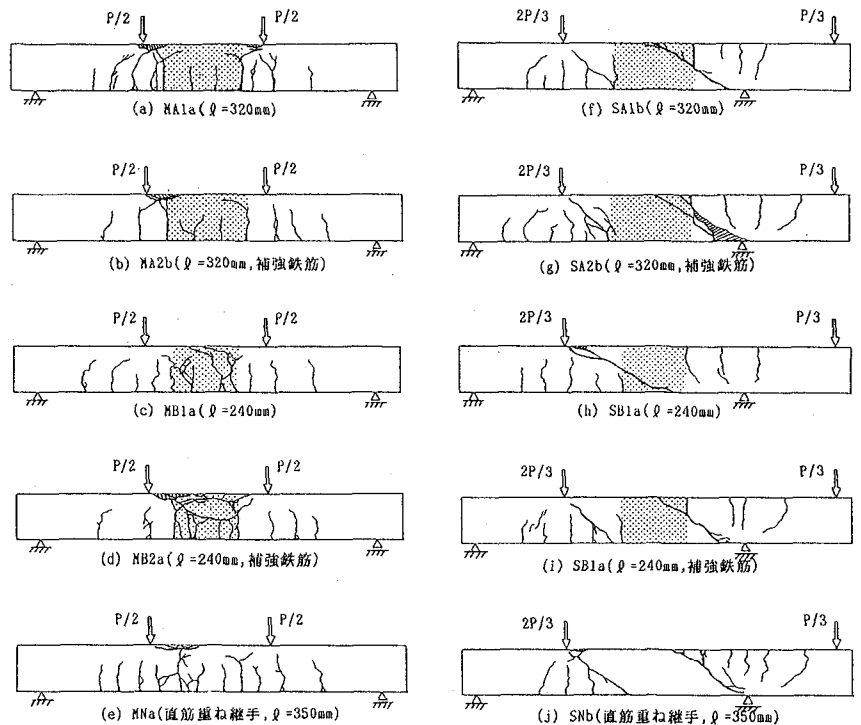


図6 破壊後のひびわれ状況

供試体MNaと同様、供試体下面より曲げひびわれが発生し始めている。ただし、打継目では、他の箇所よりひびわれ幅が大きい。しかし、その他の要因によるひびわれは発生しておらず、ループ鉄筋間の応力の伝達が十分になされていたことがわかる。つぎに、ループ鉄筋の重ね継手長の短い($\ell=240\text{mm}$)供試体MB1a、およびMB2a(補強鉄筋)のひびわれは、ループ鉄筋に沿った形状を呈している。これは、供試体MB1aの場合、終局荷重付近においてループ鉄筋に大きな引張力が作用したとき、コンクリートとの付着が切れ、さらに支圧力が作用するループ部内側のコンクリートに応力が集中して、その箇所のコンクリートが圧壊し、鉄筋の定着が不十分となったために発生したものと考えられる。このように、鉄筋の定着が不十分になると、耐力力が急激に減少し、破壊に至るものと考えられる。

一方、供試体MB2aの場合、補強鉄筋により支圧力が分散されるため、ループ部のコンクリートは即座に圧壊せず、さらに、同鉄筋がループ鉄筋のずれを防ぐピン役目を果たしたため、耐力力が上昇し、重ね継手長の長い供試体と同様に、靱性のある曲げ引張破壊を起したものと考えられる。以上のことより、ループ鉄筋の重ね継手長が $\ell=320\text{mm}$ では、十分に応力を伝達し、継手長がさらに短い $\ell=240\text{mm}$ の場合でも、補強鉄筋を配筋すれば、所要の曲げ耐力力を有することが可能になると判断される。

さらに、せん断破壊実験の場合、いずれの供試体にも、斜ひびわれが生じている。これらの斜ひびわれは、終局荷重の80%前後で発生し始め、終局荷重付近になって急激にひびわれが進展し、破壊に至ったことが観察された。また、当初、弱点になると考えられたコンクリートの打継目に関しては、曲げによるひびわれが発生しているものの、耐力力に影響するような決定的なものではないことがわかった。このことは、供試体SB1aを除くすべての供試体が、打継目のない供試体SNa、およびSNbと同等の終局耐力力を有していたことから確認できる。

3. 床版モデルの静的押抜きせん断耐力実験、および定点繰返し載荷実験

3.1 実験方法と供試体

供試体の形状寸法、および載荷方法を、図7に示す。供試体は、実橋の床板と同程度の寸法を有するものとし、この図に示すように、短辺が自由で、長辺を単純支持された床版の中央(継手部)に、輪荷重に相当する荷重(載荷幅 $50\text{cm}\times 20\text{cm}$)²⁾を載荷するものとした。ここでは、辺長比(短辺/長辺)を1:2に設定することにより、一方向版とみなせるものとした。また、床版厚は 21cm とした。

実験内容の概略を、図8に示す。ここで、静的押抜きせん断破壊実験に対しては、荷重を漸増させて破壊に至らせた。また、定点繰返し載荷実験に対しては、一定の上・下限荷重による片振りの繰返し載荷(200万回を目

標)を行った。上限荷重 $P_{\max}$ 、および下限荷重 $P_{\min}$ の大きさは、衝撃係数 i を考慮して以下に示す値を採用した。

$$P_{\max}=P_r\times(1+i)\times 1.2+P_{\min}=17.8\text{tf} \quad \text{-----(4)}$$

ここに、

$P_r=10.0\text{tf}$:輪荷重、 $P_{\min}=1.0\text{tf}$:下限荷重

$i=0.4$:衝撃係数³⁾

そして、200万回の繰返し載荷後、著しい疲労損傷が認められない場合には、 $P_{\max}=19.8\text{tf}$ (200~250万回)、 $P_{\max}=21.8\text{tf}$ (250~300万回)、 $P_{\max}=23.8\text{tf}$ (300~350万回)、 $P_{\max}=25.8\text{tf}$ (350~400万回)と、段階的に $P_{\max}$ を増加させ、最大400万回まで載荷した。さらに、定点繰返し載荷終了後に供試体の静的載荷を行い、定点繰返し載荷終了後の残留耐力力についても調べた。なお、本実験では、すべての供試体について著しい疲労損傷が認められなかったため、400万回まで載荷することになった。

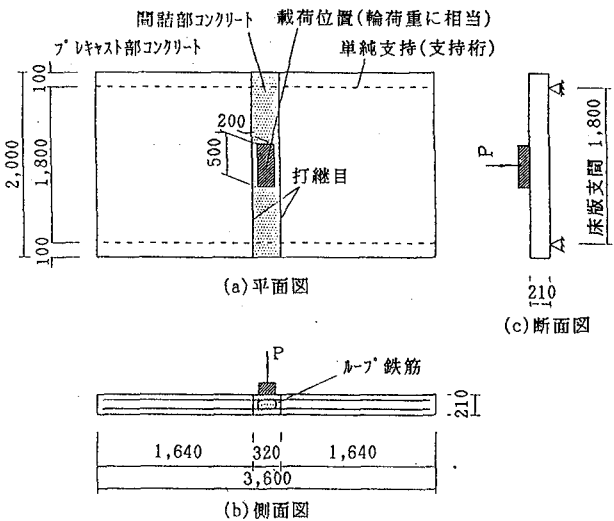


図7 供試体と載荷方法(単位:mm)

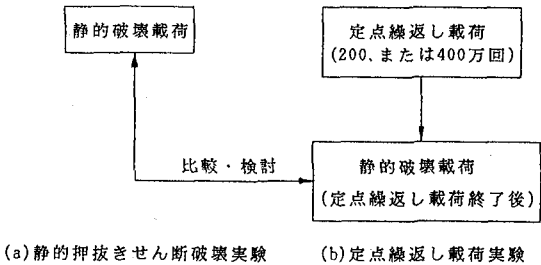


図8 実験内容の概略

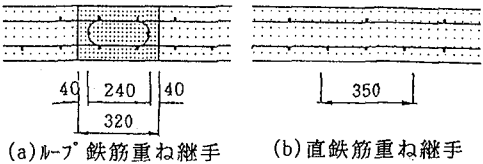


図9 継手部の概略図(単位:mm)

供試体の継手部には、はりの破壊実験より適切と考えられた図9(a)に示すループ鉄筋重ね継手(重ね継手長が $\ell=240\text{mm}$ で、配力鉄筋に使用)を採用した。そして、比較のために、同図(b)に示す直鉄筋の重ね継手(重ね継手長 $\ell=350\text{mm}$)を有する供試体(間詰部なし)も製作した。使用した鉄筋は、主鉄筋、およびループ内の補強鉄筋にはD19(SD295)を、また、配力鉄筋にはD16(SD295)を用いた。配筋間隔は、下鉄筋(引張鉄筋)については15cmピッチ、また、上鉄筋(圧縮鉄筋)については30cmピッチ(ループ鉄筋継手部のみ15cmピッチ)とした。ちなみに、有効高さ、および引張鉄筋比は、主鉄筋方向に対し17.05cm、および1.12%、配力鉄筋方向に対し15.3cm、および0.87%である。そして、プレキャスト部には普通コンクリートを、また、間詰部には膨張コンクリートを用い、圧縮強度は 240kgf/cm^2 を目標とした。プレキャスト部コンクリートの打継面は、はり供試体と同様に粗面処理を行った。

供試体の種類を、表2に示す。なお、同表に示すように、両実験とも、同一の供試体を2体ずつ行うこととした。

3.2 実験結果

(1) 荷重とたわみとの関係 (定点繰返し載荷実験)

図10には、定点繰返し載荷実験の各繰返し回数載荷後における、静的荷重と供試体中央点のたわみとの関係を示す。図中のたわみは、繰返し載荷時の上限荷重まで静的に載荷した時の値である。また、同図中には、全断面有効とした場合、および引張側のコンクリートを無視し直交異方性版⁹⁾とした場合の解析値も示してある。

この図より、繰返し載荷回数が増加するに伴い、同一荷重のもとでたわみ量が増加するものの、荷重-たわみ曲線の線形性は保持されていることがわかる。また、たわみ量は、全断面有効とした解析値と引張側のコンクリートを無視した解析値との間に位置していることがわかる。

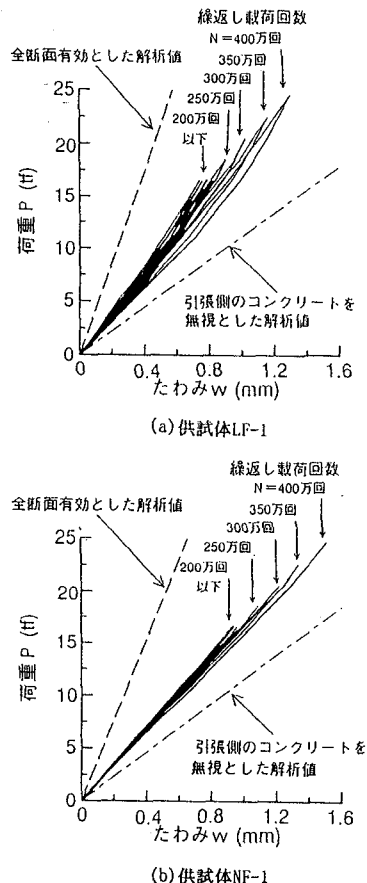


図10 荷重とたわみとの関係 (定点繰返し載荷供試体)

(2) 繰返し載荷回数と打継目のひびわれ幅との関係

(定点繰返し載荷実験)

供試体下面の打継目のひびわれ幅を、パイ型ひずみゲージにより測定した。図11には、繰返し載荷回数とひびわれ幅との関係を示す。図中のひびわれ幅は、繰返し載荷時の上限荷重を静的に載荷したときのものである。この図より、上限荷重 P_{max} が17.8tfである200万回までのひびわれ幅は、両供試体ともほぼ一定である。そして、200万回以降上限荷重が増加するに伴い、打継目のひびわれ幅も増大している。しかし、設計荷重載荷時(200万回まで)では、0.07~0.12mm程度であり許容ひびわれ幅³⁾ $\delta_s=0.005C=0.15\text{mm}$ ($C=30\text{mm}$:鉄筋のかぶり)よりも小さいことがわかる。

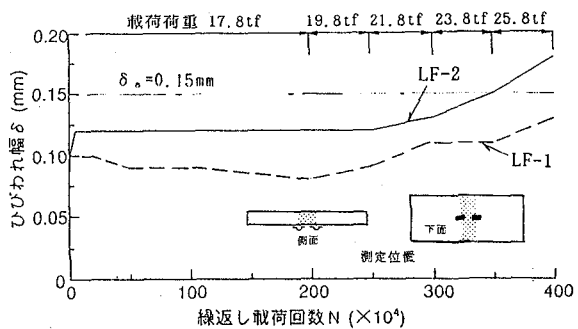


図11 繰返し載荷回数と打継目のひびわれ幅との関係

(3) 静的押抜きせん断破壊荷重

表2には、各供試体の静的破壊荷重の実験値、および静的押抜きせん断破壊荷重の計算値^{9)、10)、11)}を示す。なお、定点繰返し載荷実験供試体の実験値は、400万回の定点繰返し載荷後の押抜きせん断破壊荷重値を示している。また、計算値は、試験結果による同表中のコンクリートの圧縮強度、および表3の鉄筋の降伏点を用いて算出した。

この表より、両実験とも、ループ鉄筋重ね継手の供試体は、直鉄筋重ね継手の供試体と同等な耐力を有していることがわかる。また、各供試体の実験値は、計算値

表2 供試体の種類と静的破壊荷重の実験値、および計算値

実験の種類	継手の形状	供試体の名称	コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm ²)		実験値 (tf)	計算値 (tf)			① ②	① ③	① ④	
			σ_{c1}	σ_{c2}		①	示方書 ②	前田・松井 ③				角田 他 ④
断静的破壊押抜き供試体せん	ループ鉄筋	LS-1	423	245	82.1	75.0	83.3	68.0	1.09	0.99	1.21	
		LS-2	421	236	88.0	74.8	81.2	67.9	1.18	1.07	1.30	
	直鉄筋	NS-1	319	—	84.6	65.1	73.8	63.2	1.30	1.15	1.34	
		NS-2	376	—	85.0	70.7	83.2	65.9	1.20	1.02	1.29	
供定試点繰返し載荷	ループ鉄筋	LF-1	322	200	79.4	65.5	75.0	63.4	1.21	1.06	1.25	
		LF-2	345	211	87.3	67.8	78.8	64.5	1.29	1.11	1.35	
	直鉄筋	NF-1	234	—	79.1	54.6	62.0	58.1	1.45	1.27	1.36	
		NF-2	426	—	88.3	75.3	83.4	68.1	1.17	1.05	1.30	

注) σ_{c1} : プレキャスト部コンクリートの圧縮強度、 σ_{c2} : 間詰部コンクリートの圧縮強度
計算値は、プレキャスト部コンクリートの圧縮強度 σ_{c1} を用いて算出している

表3 鉄筋の機械的性質

材質名称	降伏点 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^6$ kgf/cm ²)	ポアソン比	伸び率 (%)
SD295 (D16)	3,509	5,193	1.94	0.28	24.8
SD295 (D19)	3,749	5,547	1.96	0.27	25.8

と比較して同等、またはそれ以上の耐荷力を保有していることがわかる。このことより、ループ鉄筋重ね継手は、定点繰返し荷重を受けても、なお十分な静的押抜きせん断に対する耐荷力を保有していることがわかった。

(4) 静的載荷によるひびわれ、および破壊状況

図12には、供試体下面、および主鉄筋方向断面と配力鉄筋方向断面のひびわれ、および破壊状況を示す。

まず、ひびわれの発生状況については、静的押抜きせん断実験の場合、ループ鉄筋重ね継手の供試体については、30tf付近で供試体下面の片側の打継目に沿って、ひびわれが発生し始めた。打継目のない供試体についても、30tf付近で供試体下面中央に発生し始め、その後、荷重の増加に伴って放射状に広がった。

定点繰返し載荷実験の場合、ループ鉄筋重ね継手の供試体については、約1万～10万回の間で供試体下面の片側の打継目に沿ってひびわれが発生した。その他のひびわれは、全供試体とも約20万回以前に供試体下面の中央付近に発生し、繰返し載荷回数、および上限荷重が増すのに伴って放射状に広がった。

つぎに、破壊状況については、静的載荷に対していずれの供試体も、上面では載荷面(50cm×20cm)が陥没し、また、下面では図12に示すように広範囲にわたる破壊

ラインが生じる、いわゆる押抜きせん断により破壊した。ループ鉄筋重ね継手を有する供試体の場合、供試体下面の打継目に沿って多少のひびわれが発生しているものの、破壊に対して支配的なものとはならず、間詰部のない直鉄筋重ね継手の供試体と同様な破壊形状となっていることがわかった。

さらに、同図より破壊ラインを観察すると、いずれも床版厚方向の破壊ラインは、配力鉄筋方向の断面(断面A-A)において、載荷縁直下より斜め下方に下鉄筋位置まで約20°～30°の角度で進展し、さらに下方のかぶり部分において広範囲にわたる剥離破壊が生じていることがわかった。主鉄筋方向の断面(断面B-B)では、載荷縁直下から下鉄筋位置までの破壊ラインの角度は45°前後であり、かぶり部分において同様に剥離破壊が生じていることがわかった。また、下面においては、破壊ラインがいずれもいびつな矩形状に広がった。このうち、供試体NS-2の場合、破壊ラインはつながり閉じている。しかし、その他の供試体は、一部の区間においてつながっていないことがわかる。

4. まとめ

(a) はりモデルの静的破壊実験

- ① はりモデルの曲げ破壊実験より、ループ鉄筋の重ね継手長が320mmの供試体の場合、通常の直筋の重ね継手(重ね継手長350mm)と同等の終局耐荷力を有することがわかった。
- ② また、ループ鉄筋の重ね継手長が短い240mmの供試体の場合、終局耐荷力は若干低下する場合があった。し

かし、ループ内に補強鉄筋を配筋すれば、継手長が240mmであっても、直鉄筋の重ね継手と同等の終局耐荷力を有することがわかった。

- ③ はりモデルのせん断破壊実験より、コンクリートの打継目のひびわれに起因する破壊は起こらないことがわかった。また、ループ鉄筋の重ね継手長を240mmと短くしても、せん断に対する終局耐荷力の低下は生じないことも確かめられた。

(b) 床版モデルの静的押抜きせん断耐荷力実験、および定点繰返し載荷実験

- ④ 床版モデルの静的破壊実験より、床版のループ鉄筋重ね継手部(重ね継手長240mm、補強鉄筋あり)は、通常の直鉄筋

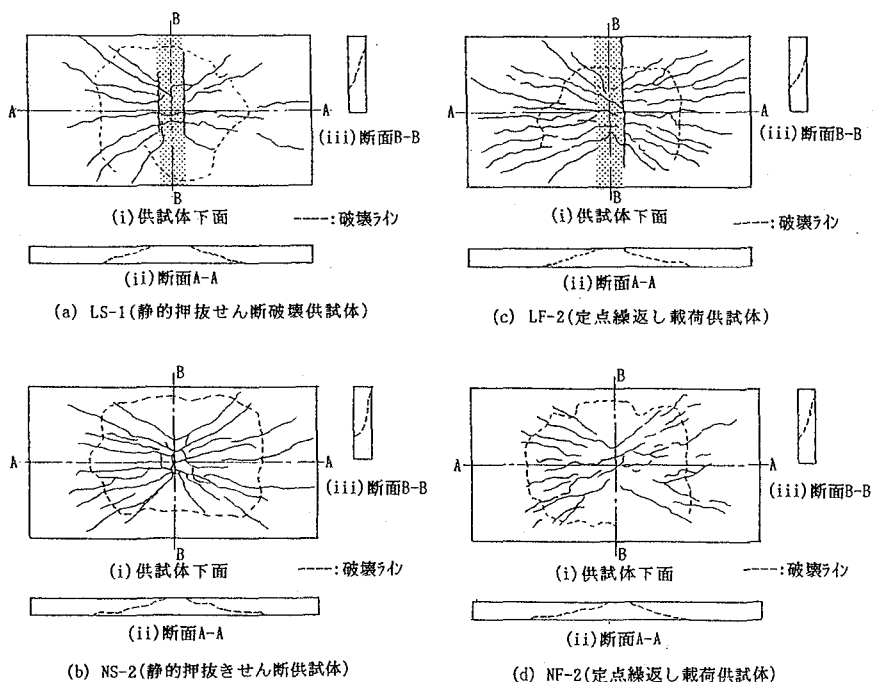


図12 静的載荷による破壊状況

の重ね継手部と同等の静的押抜きせん断耐荷力を有しており、また、既往の文献による計算値以上の静的押抜きせん断耐荷力を有していることがわかった。

- ⑤ 床版モデルの定点繰返し載荷実験より、ループ鉄筋重ね継手部は、200万回の定点繰返し荷重(道路橋示方書による設計輪荷重で、上限荷重=17.8tf、また下限荷重=1tf)を受け、その後、さらに大きな荷重(上限荷重の最大値=25.8tf)による400万回の定点繰返し荷重を受けても全く問題とならず、定点載荷に対しては十分な耐疲労性があることがわかった。
- ⑥ また、400万回の定点繰返し荷重を受けても、定点繰返し荷重を受けていない場合と同等の静的押抜きせん断耐荷力(残留耐荷力)を有していることがわかった。
- ⑦ 静的破壊実験、および定点繰返し載荷実験における静的破壊実験より、ループ鉄筋継手の場合、床版下面の打継目に沿って多少のひびわれが発生するが、そのひびわれは、静的破壊に対して支配的なものとならないことがわかった。

おわりに

本実験研究により、プレキャスト床版のループ鉄筋重ね継手は、静的、および動的荷重(定点繰返し荷重)に対して十分な耐荷力および耐疲労性を有していることがわかった。しかし、実橋の床版は、過大な移動輪荷重や過酷な気象条件(雨水等の浸入)といった、極めて厳しい環境下にある。そのため、より厳密には、実際の条件に即した輪荷重走行試験を行って、継手部の疲労に対する耐久性を検証しておく必要がある。このことは、今後の課題としたい。

最後に、本実験研究を行うに当たり、絶大なご協力をいただいた日本大学理工学部4年生(当時)の妹尾真二氏、竹中保雄氏、および大阪市立大学工学部4年生(当時)の古家 武氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1)中井 博編:プレキャスト床版合成桁橋の設計・施工、森北出版、1988年
 - 2)前田研一、橘 吉宏、柳澤則文、志村 勉、梶川康男:合成斜張橋・プレキャスト床版の設計法とループ状重ね継手の耐久性に関する研究、構造工学論文集Vol. 36A、土木学会、pp. 1305~1312、1990年3月
 - 3)日本道路協会:道路橋示方書・同解説、Ⅰ・Ⅱ・Ⅲ、丸善、平成6年2月
 - 4)岡村宏一、園田恵一郎:ひびわれ床版の力学的特性、鉄筋コンクリート床版の損傷と疲労設計へのアプローチ、鉄筋コンクリート床版疲労設計委員会報告、土木学会関西支部、pp. 75~111、昭和52年7月
 - 5)岡田 清、岡村宏一、園田恵一郎、島田 功:道路橋鉄筋コンクリート床版のひびわれ損傷と疲労性状、土木学会論文報告集、第321号、pp. 49~61、1982年5月
 - 6)Leonhart, F., Mönnig, E. (著)、横道英雄(監訳):鉄筋コンクリートの配筋、鹿島出版会、昭和60年
 - 7)古内 仁、高橋義裕、上田多門、角田与史雄:反曲点を有するRCはりのせん断破壊に対する斜ひびわれの影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、No. 2、pp. 449~454、1993年
 - 8)松井繁之:道路橋コンクリート床版設計法に関する研究、大阪大学博士学位論文、昭和59年11月
 - 9)土木学会:コンクリート標準示方書(設計編)、平成3年
 - 10)前田幸雄、松井繁之:鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式、土木学会論文集、第345号/V-1、pp. 133~141、1984年8月
 - 11)角田与史雄、井藤昭夫、藤田嘉夫:鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究、土木学会論文報告集、第229号、pp. 105~115、1974年9月
- (1994年9月14日受付)