

スパイラル鉄筋のプレキャスト床版継手への適用性に関する研究

Study on jointing of pre-cast decks with spiral reinforcing bars

松井繁之*、金 閏七**、大石富彦***、三鼓 晃***、安福 滋****、青野健治****

Shigeyuki MATSUI, Yoonchil KIM, Tomihiko OISHI, Akira MITSUZUMI, Shigeru YASUHUKU and Kenji AONO

*工博 大阪大学大学院教授 工学研究科 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

**大阪大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

***関西電力株式会社 土木建築室 土木建設グループ (〒530-8270 大阪市北区中之島 3-3-2 2)

****近畿コンクリート工業株式会社 土木事業部 (〒564-0011 大阪府吹田市岸部南 1 丁目 2-1)

Recently in Japan, development of pre-cast decks and there joint systems is intending for laborsaving at construction and high durability of slabs in highway bridges. The authors proposed to use spiral reinforcing bars into a loop joint or a lapped joint instead of inserting of the main reinforcing bars into the loop reinforcing bars.

For these new types of joints, the bending strength and shear strength were verified under fatigue loads of bending and alternating shear force. Also, a slab having those jointing systems was tested to certify the safety in full scale models using wheel running machine which has been recognized as an appropriate testing method to survey the fatigue durability of highway bridge slabs. From all series of tests, the jointing systems using spiral bars could be said to have sufficient practicality.

key words : pre-cast deck, spiral reinforcing bar, loop joint

1. まえがき

近年、道路橋建設において、工期の短縮とコスト削減から鋼少主桁橋の採用が多くなり、床版支間が増加するので、床版には、耐荷力・耐久性の観点から高品質のプレキャスト床版が適用されている。その場合、橋軸方向での床版相互の接合方法が問題になる。床版の継手構造には、プレキャスト床版を橋軸方向に並べて、プレキャスト床版間に単純に充填モルタルを注入し、硬化後にプレストレスを与えて一体化するせん断キー方式と、プレキャスト床版の端部から張り出した配力筋を重ね合わせて、その部分に現場打ちコンクリート (RC 継手) とするループ継手方式がある。

最近では、特殊作業がなく、工期短縮が期待でき、経済的にも有利な後者の継手構造が採用され始めている。

この RC 継手の一般的な継手構造として RC ループ継手構造がある。RC ループ継手は、床版橋軸方向の端面からループ状に張り出した配力筋を重ね合わせた構造である。耐荷力、耐久性の両面において、実橋で十分適用できることがすでに認知されている継手構造である。

しかし、RC ループ継手の施工では、ループ内に主鉄筋を挿入する必要性から、橋側面にあらたに専用の足場が必要になり、作業性と安全性の面において改善の余地があった。そこで筆者らは、作業性と安全性を改善するため、継手上面で作業ができるように、ループ内主鉄筋の代わりに、スパイラル鉄筋 (らせん鉄筋) を挿入することを考案した。

本論では、この新しい継手構造 (らせん鉄筋継手構造) の性

能を評価するために行った以下の各種試験、

- ①梁供試体による静的な曲げ、せん断試験
- ②梁供試体による静的な純引張試験
- ③梁供試体による動的な疲労せん断試験
- ④実物大床版供試体による輪荷重走行試験

それぞれの試験結果から、RC ループ継手による結果と比較することで、らせん鉄筋継手の性能を評価して、実橋への適用性について検討を行った。

以下に、継手構造、各種試験の内容と試験結果、実橋における適用性検討について報告する。

2. 継手構造について

筆者らが考案したらせん鉄筋継手構造と従来の RC ループ継手構造をそれぞれ図-1、図-2に示す。

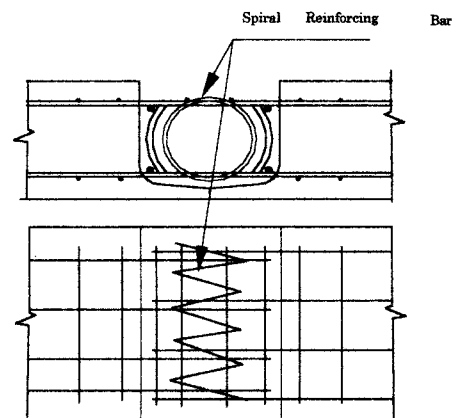


図-1 らせん鉄筋継手

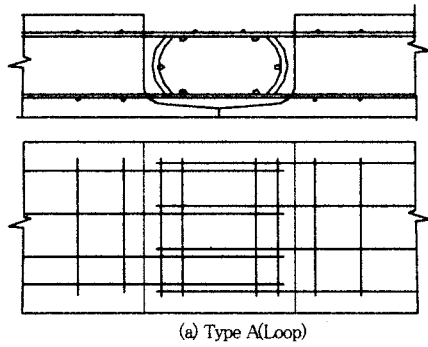


図-2 RC ループ継手

従来のRCループ継手では、図-2に示すように施工の場合、橋軸方向の床版端部からループ状の配力筋を張り出した状態のプレキャスト床版を鋼桁上に設置した後、床版相互から張り出したループ筋で形成された槽内に、主鉄筋を配筋し、現場でコンクリートを打ち込み構築される。

この一連の施工プロセスの中で、主鉄筋の配筋を行うステップでは、継手部となる配力筋を重ね合わせたループ内に主鉄筋を挿入する必要がある。挿入するときは、橋軸直角方向の端部から鉄筋を挿入しなければならないことから、挿入側の端部にあらたに専用の足場を設置しなければならない。また、長尺の鉄筋を作業員が水平に持ちながら専用足場から挿入するため、作業が困難であるとともに安全性においても問題があった。これらのことから、専用足場が要らず、作業が比較的容易で、安全性が改善される継手方法を目的として検討を行った。らせん鉄筋継手は、こうした作業性と安全性における問題点を解決する方法として考案した。図-1のらせん鉄筋継手では、図に示すように床版を鋼桁に設置した後、配力筋の張り出し部分に上から主鉄筋の代わりにらせん鉄筋を押し込み、現場でコンクリートを打ち込む方法である。らせん鉄筋継手の場合、上かららせん鉄筋を押し込んで配筋することから、専用足場が要らず、作業が比較的容易であることから、工期短縮、コスト削減、安全性改善を図れるものとする。

3. らせん鉄筋継手の性能試験

らせん鉄筋継手の性能を確認し、実橋への適用性について評価するため、静的、動的の各種試験を行った。以下に各種試験の内容と試験結果を述べる。

3.1 梁供試体による静的曲げ、せん断試験¹⁾

(1) 試験目的

従来のRCループ継手とらせん鉄筋を挿入した各種継

手構造を試験ケースとして、静的な曲げ、せん断における耐荷力性能を確認する。

(2) 供試体概要と試験ケース

試験を行った継手の種類、試験ケースを図-3、表-1に示す。

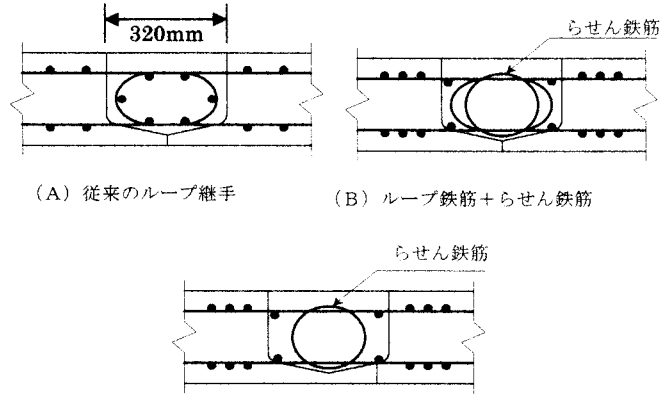


図-3 継手の種類

表-1 試験ケース

供試体名		载荷方法	らせん筋の有無
Type-A	A	Case-1	-
		Case-2	
		Case-3	
Type-B	B BS	Case-1	有り 無し
		Type-C	CS
C	無し		
CS	有り		
C	無し		
	CS	Case-3	有り

継手の種類は、(A) 通常のループ継手、(B) ループ内主鉄筋をループの外に配し、橋軸直角方向端部からの施工が避けられるもの、(C) ループ筋と同じ継手長とした直筋による重ね継手構造の大きく3種類であり、(B)、(C)では、らせん鉄筋の有無のケースを設けて試験ケースとした。(図-3の(B)、(C)は、いずれもらせん鉄筋有りのケースを記している。)

(3) 試験方法

試験モデルを図-4に示す。梁形の供試体は、単純支持による2点集中線荷重で载荷した。CASE-1, 2は、実橋での正負交番荷重を想定し、梁の上下面より载荷した。また、CASE-3は、継手部のせん断耐力を確認するため、支間長を短く($a/d=2.4$)した。

いずれのケースとも供試体が破壊するまで载荷した。測定は、たわみ、鉄筋のひずみ、コンクリートのひずみと継手境界面の開口量とした。

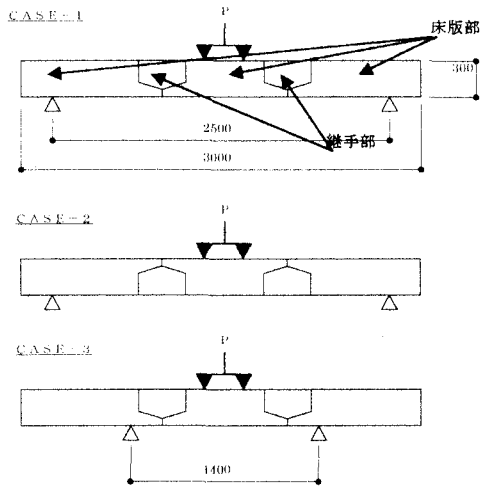


図-4 試験モデル

(4) 試験結果

各試験ケースそれぞれにおける供試体の終局荷重を表-2に示す。供試体の破壊は、CASE-3を含めて全て主鉄筋の降伏からコンクリート上縁圧壊に至る曲げ破壊であった。終局耐力のみを比較した場合、若干の供試体個々の差異は実験におけるバラツキの範囲と言えるものであり、継手形状、載荷方法の違いによる有意な差は認められず、耐荷力はほぼ同等であった。

CASE-1 供試体の破壊状況を図-5に示す。

初期ひびわれの発生は、いずれも継手部コンクリートと床版コンクリートの載荷側境界面より発生した。また、らせん鉄筋を配した供試体では、継手内部でのひびわれ発生は見られなかった。CASE-1における荷重-たわみ曲線を図-6に示す。

継手形状の違いによる差がほとんど認められず、らせん筋有無による有意な差も認められなかった。その後、約160kNあたりから支点側の継手部コンクリートと床版コンクリートの境界線に沿ってひびわれが発生した。

これは、重ね継手鉄筋のケースでは発生しなかった。

その代わりに、重ね鉄筋端に当たる所で引張ひびわれ

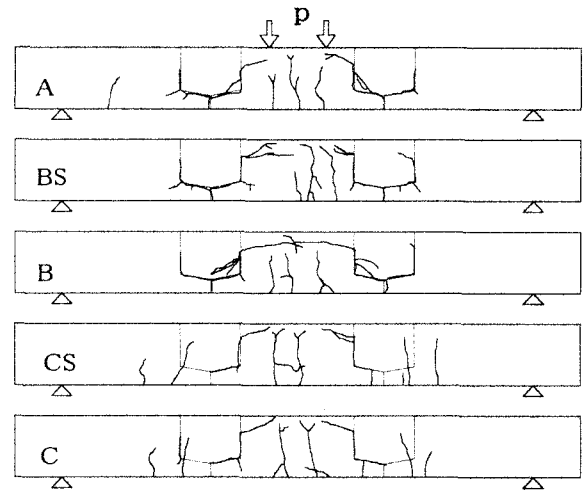


図-5 供試体の終局状況 (CASE-1)

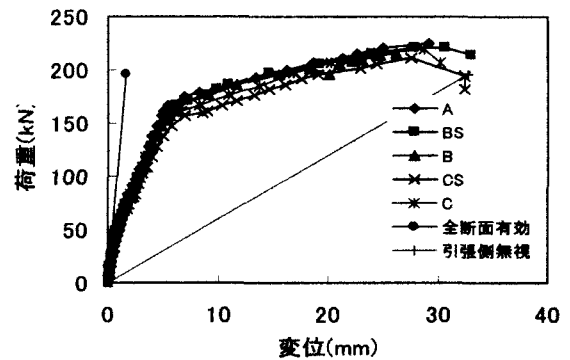


図-6 荷重-たわみ曲線 (CASE-1)

が発生した。また、らせん鉄筋の挿入されているケースでは、らせん円内におけるひびわれ発生がほとんど認められなかった。

いずれの供試体とも、約180kN 載荷した後、継手境界に沿ってコンクリートの付着破壊による変位の急激な増加が見られた。静的載荷試験により、らせん鉄筋を配した継手タイプ (B, C) は、いずれもタイプ A とほぼ同じ耐力を有し、らせん鉄筋内部のコンクリートに十分な拘束効果を持つ。

表-2 各供試体の終局荷重と破壊状況モデル

供試体名	載荷方法	設計相当荷重 (kN)	終局荷重 (kN)		破壊状況	
			計算値 (P _{cal})	実測値 (P _{exp})		
Type -A	A	Case-1	54	218.5	225.4	支間中央 コンクリート上縁 圧壊
		Case-2	54	218.5	202.9	
		Case-3	109	437.1	479.2	
Type -B	BS	Case-1	54	218.5	224.4	
					212.7	
Type -C	CS	Case-1	54	218.5	217.6	
		Case-1	54	218.5	220.5	
	C	Case-2	54	218.5	213.6	
		Case-2	54	218.5	210.7	
	C	Case-3	109	437.1	444.9	

3.2 梁供試体による純引張試験²⁾

(1) 試験目的

継手部の曲げ引張に対するらせん鉄筋の効果をより明確にするため、純引張試験を行う。

(2) 供試体概要と試験ケース

供試体の概要図を図-7に示し、試験ケースを表-3に示す。

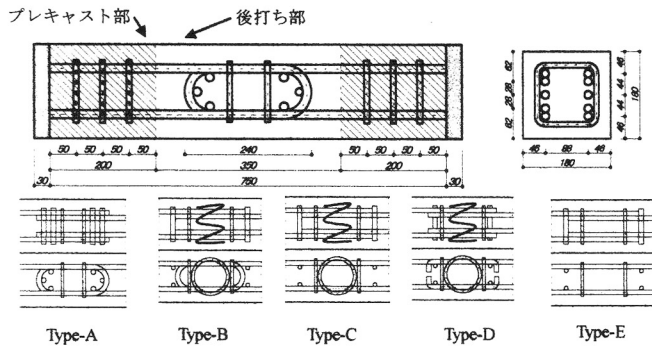


図-7 供試体の概要図

Type-Aは、通常のループ継手である。Type-B, C, Dは、それぞれ配力筋をループ筋、直筋、フック筋で継手内に張り出し、重ね合わせ部分にらせん鉄筋を挿入した構造である。Type-Cでは、らせん鉄筋量をパラメータとして変化させた。また、Type-Eは、直筋の重ね継手で、継手長を道路橋示方書で規定されている $20\phi = 320\text{mm}$ (D16) から 15ϕ , 10ϕ , 6ϕ と変化させた。

表-3 試験ケース

供試体種類		らせん筋 有無	直径(mm)	配力筋
Type-A	ループ継手	-	-	ループ
Type-B	らせん鉄筋継手	○	120	ループ
Type-C	直筋+ らせん 筋	○	通常量	120 直筋
			1.5倍	180 直筋
			2倍	120 直筋
			3倍	180 直筋
Type-D	フック筋+ らせん筋	○	120	フック
				直筋
Type-E	直筋継手	×	-	直筋
				直筋
				直筋
				直筋

(3) 試験方法

試験装置の概略を図-8に示す。荷重は、油圧ジャッキで 5 kN ずつ荷重を載荷し、供試体が降伏し、全伸び量が 10 mm に達するまで載荷した。また、供試体には、実橋床版での幅の影響を考慮して、橋軸直角方向に約 1 N/mm^2 の拘束力を与えて、この方向への連続性を考慮した。拘束状況を図-9に示す。

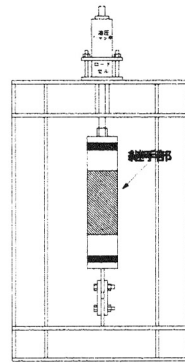


図-8 試験装置

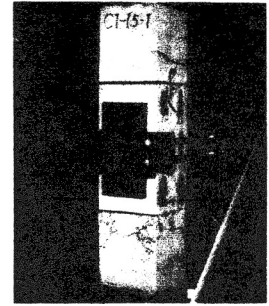


図-9 供試体拘束状況

(4) 試験結果

250 kN 載荷時点での床版下面にあたるひびわれの発生状況と終局荷重及び終局状況をそれぞれ図-10、表-4に示す。ひびわれの発生は、全ての供試体において、約 $50\sim 60\text{ kN}$ の載荷荷重で継手境界面からであった。直筋重ね継手で継手長さが短いE100 (6ϕ) E160 (10ϕ)は、鉄筋の降伏応力に至るまでに継手内部の付着切れによる引き抜き破壊が生じた。その他の供試体においては、 $125\text{ kN}\sim 185\text{ kN}$ 付近で継手中央部に引張方向に垂直な方向にひびわれが発生した。その後、継手境界面でのひずみが増大し、全伸び量が 10 mm に達した時点で載荷を終了した。らせん鉄筋の挿入されている実験ケース (B, C, D1) では供試体上面部では、他の実験ケース (D, E)と同様に継手中央部に水平方向のひびわれの発生が認められるが、供試体側面部では、ほとんど認められなかった。

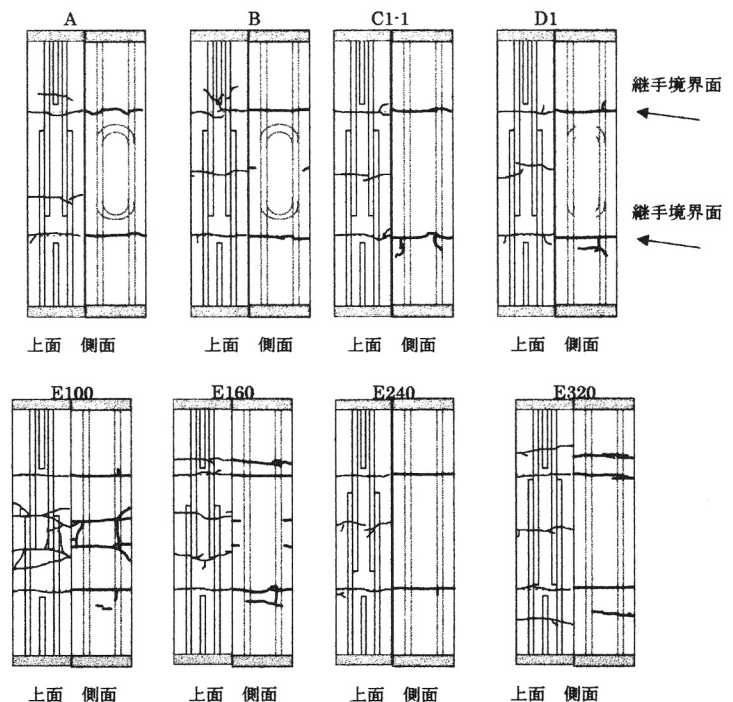


図-10 ひびわれ発生状況(250kN 載荷)

表-4 終局荷重と終局状況

	Case-1		Case-2		
	kN	終局状況	kN	終局状況	
TypeA	278.3	破壊に至らず	318.5	鉄筋降伏	
TypeB	292.0	かぶり剥離	318.5		
TypeC	C1-1		312.6		318.5
	C1-1.5		297.9		318.5
	C2-1		296.0		318.5
	C2-1.5		296.0		318.5
C3	299.0	318.5			
TypeD	D	299.0	鉄筋が抜けるよ うにして破壊		318.5
	D1	296.0	318.5		
TypeE	E100	161.7	鉄筋の付着切れ による引抜け		196.0
	E160	245.0	318.5	鉄筋降伏	
	E240	281.2	318.5	鉄筋降伏	
	E320	313.6	318.5	鉄筋降伏	

これは、らせん鉄筋の挿入により、らせん円内のコンクリートが拘束された結果であると推定される。また、E100、E160以外の供試体については、継手部で重ね合わせている配力筋が十分に定着されていることを示すものである。

E160以外の供試体は、約 $1800 \mu \epsilon$ (270~280 kN 載荷付近) で降伏して急激に全伸び量、ひずみともに増加し、伸び 10 mm で試験を終了した。

この結果から、重ね継手長さが 15ϕ 以上になると、局部破壊が起こらず継手性能を発揮すると言える。また、明確の差は得られなかったが、らせん鉄筋の挿入によっても、継手性能に何ら問題がないことが確認できた。

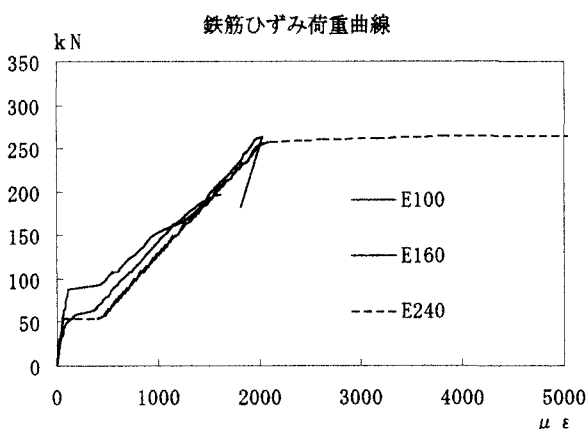
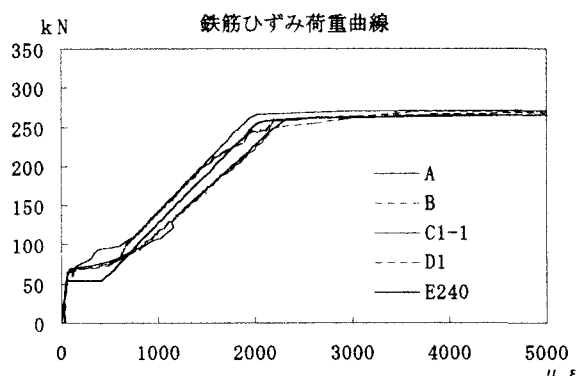


図-11 荷重-鉄筋ひずみ曲線

荷重-鉄筋ひずみ曲線を図-11に示す。鉄筋のひずみ変化は、継手タイプ、らせん鉄筋の有無の違いが結果の差としては認められない。載荷途中で破壊した E100,

3.3 正負交番せん断荷重による疲労試験³⁾

(1) 試験目的

走行輪荷重による橋軸直角な断面に作用する正負交番のせん断力に対しての継手部の疲労耐久性を確認する。

(2) 供試体概要と試験ケース

試験ケースを表-5に示す。

表-5 試験ケース

継手の種類	供試体名	らせん筋の有無
Type-A	A	—
Type-B	B1	有り
	B2	無し
Type-C	C	有り

供試体の継手構造は、図-3と同様である。タイプ B については、らせん鉄筋を挿入したタイプを B1、挿入していないタイプ B2 としている。試験ケースは、通常のループ継手のタイプ A、ループ筋にらせん鉄筋を挿入したタイプ B1、鉄筋を挿入しないタイプ B2 (タイプ B の主鉄筋はループ、らせん筋の外側に配置している)、直筋重ね継手にらせん鉄筋を配したタイプ C の計 4 ケース行った。

(3) 試験方法

載荷荷重と回数を表-6に示す。試験装置の概要を図

図-12に示す。この装置で片端部先端の回転を拘束することによって、梁供試体の継手部でせん断破壊面が生じるように継手位置、せん断スパン比 ($a/d=2$) を決定した。測定項目は、継手境界面を挟んだブロック間の相対鉛直変位 (段差)、開口量、鉄筋ひずみ及びたわみ量とした。

表-6 載荷荷重と回数

荷重(kN)	$P_n(44)$	$1.5P_n(66)$	$2.0P_n(88)$
回数	20万	20万	20万

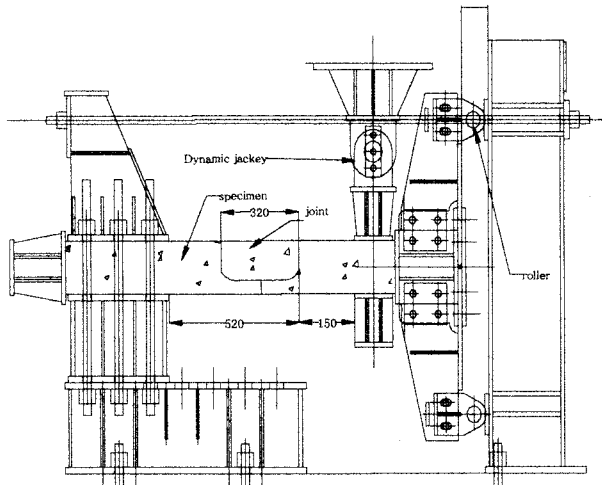


図-12 試験装置

(4) 試験結果

各供試体の最終ひびわれ状況を図-13に示す。継手の右側縁でせん断力が最大になるように合わせた (曲げモーメントは0)。従って、左側縁部はせん断力が卓越するが、曲げモーメントも作用する状況にある。ひびわれ発生は、左側縁部では、継手の左境界面から下に進行する。

また、交番載荷であることから、下面のアゴの接触面からも横に進行し、上からのひびわれと連結した。設計

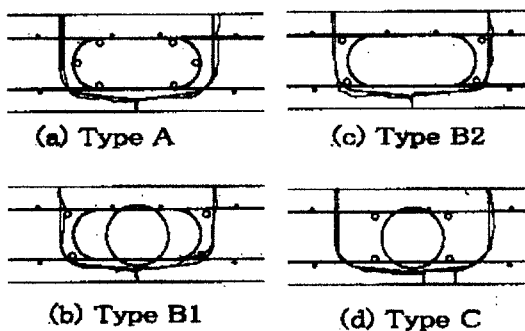


図-13 最終ひびわれ状況

荷重 (P_n) の 1.5 倍 ($1.5P_n$), 2 倍 ($2.0P_n$) が作用すると継手の右境界面にもひびわれが発生したが、目視では確認できず CCD カメラにより確認した。ひびわれ最大幅は、設計荷重の 2 倍になっても 0.1mm 以下で、実橋では許容値以下になると考えられる。

繰り返し回数による荷重直下のたわみ変化を図-14に示す。通常のループ継手の基本供試体 (タイプ A) と比較して、タイプ B 並びに最も弱いと予測されたタイプ C でもほとんど変わらない結果が得られた。重ね合わせ鉄筋を囲んだらせん鉄筋がループ筋と同じようなコンクリートの拘束効果を発揮しているためと考えられる。B1 が若干大きいのは、試験機の都合で片持部先端にひびわれが入り、回転拘束が低下したためである。

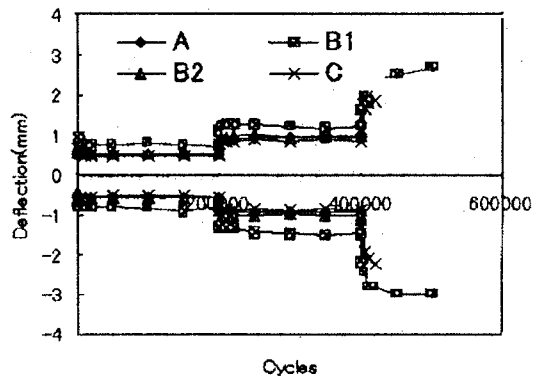


図-14 荷重直下の載荷回数とたわみとの関係

3.4 実物大床版供試体による輪荷重走行試験⁴⁾

(1) 試験目的

らせん鉄筋継手部と床版部との一体性と疲労耐久性を確認し、本継手構造の実橋への適用性について照査する。

(2) 供試体概要と試験ケース

供試体の形状及び継手構造を図-15に示す。

供試体は、3つの床版部とらせん鉄筋を挿入した2種類の継手構造で一体化したものである。継手①は、ループ筋を重ね合わせた継手中央にらせん鉄筋を挿入したもので、ループ筋内には主鉄筋を配置していない。継手②は、直筋の重ね継手中央にらせん鉄筋を挿入したものである。床版部は、橋軸直角方向にプレストレスを導入している。一方継手部はRC構造である。設計荷重は100kN、コンクリートの設計基準強度はいずれも $50N/mm^2$ である。継手部における継手長さは、240mmで、RCループ継手ではDIN1045で規定されている最低重ね長さを満足している。

表-7 走行回数と走行荷重

走行回数	走行荷重(kN)
0~50,000	98
~100,000	127
~150,000	157
~300,000	186
~400,000	207

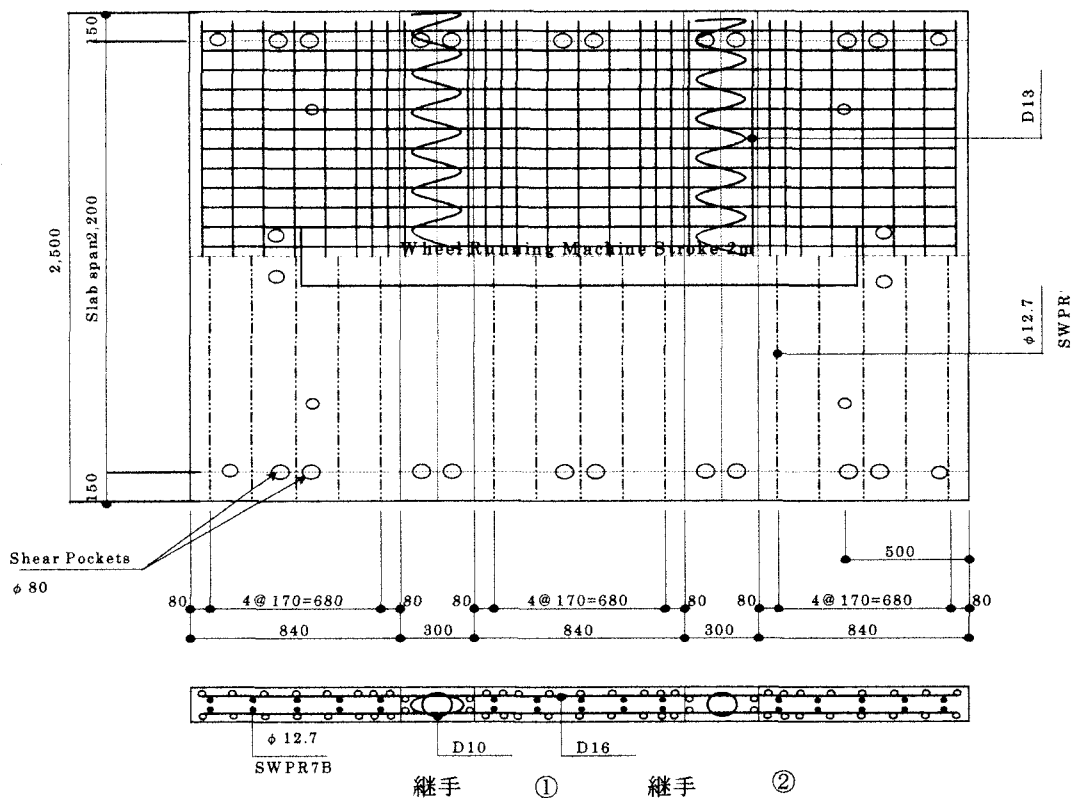


図-15 供試体形状と継手構造の概要図

(3) 試験方法

試験は、大阪大学が所有する輪荷重走行試験装置を使った。載荷方法は、表-7に示すように設計荷重 98kN から載荷開始し、順次荷重を上げて最終走行回数は 40 万往復 (80 万回) で走行荷重を設計荷重の 2 倍強の 207kN まで載荷させた。試験体の設置は、非合成桁橋床版の想定より、橋軸方向支持桁を 2 辺単純支持とし、支持桁と非合成状態とした。また、橋軸直角方向は弾性支持状態とした。

(4) 試験結果

載荷走行回数が 15 万往復 (載荷: 157kN), 30 万往復 (載荷: 186kN), 40 万往復 (載荷: 207kN) のときのひびわれ発生状況を図-16 に示す。継手部におけるひびわれ発生は 157kN であった。

そのとき床版部では、ひびわれの発生はほとんど発生していなかった。走行荷重, 走行回数は増えるが、特に継手部におけるひびわれ発生が大きく変化する傾向は見られなかった。これは、床版部に挟まれている継手部がプレキャスト版と一体的な挙動を示していることと、それによって拘束を受けているためと考えられる。

最終走行回数における橋軸方向 (配力筋方向) の輪荷重走行部直下のたわみ分布を図-17 に示す。載荷重は、供試体中央部及び左右継手部直上部である。それぞれの位置で載荷したときのたわみ分布は、全断面有効とした場合の理論値程度であった。また、それぞれの載荷位置におけるたわみは、ほぼ同じであった。

これは、床版供試体が載荷前の弾性体を維持している

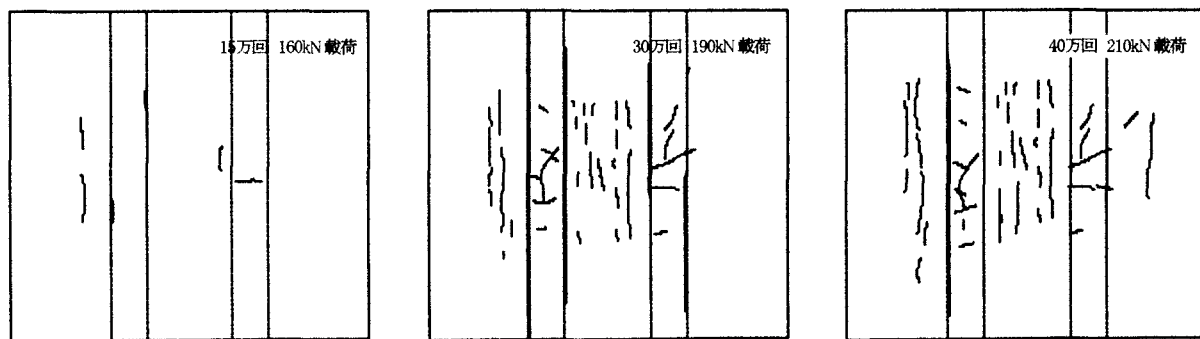


図-16 ひびわれ発生状況 (供試体下面)

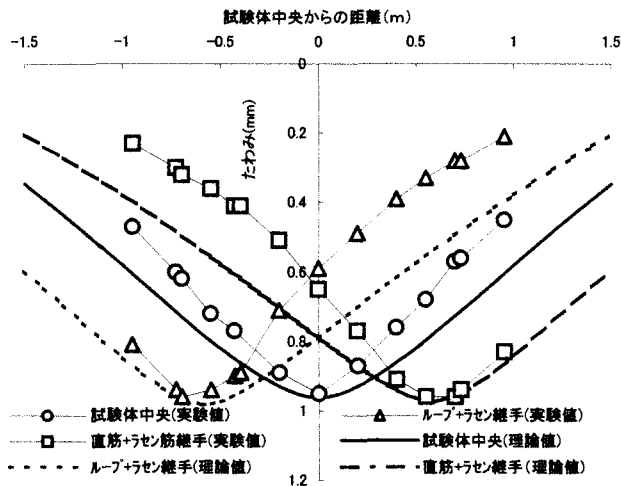


図-17 橋軸方向たわみ分布
(載荷：207kN, 走行回数 40 万往復)

とともに、継手部を含めた床版供試体が一体的であることを示すものと考えられる。このことから、らせん鉄筋を挿入した継手構造は、設計荷重の2倍の荷重下でも、供試体中央及び継手部のたわみ分布からプレキャスト版と一体的に挙動することがわかった。

設計荷重98kN時での活荷重たわみをループ継手を配した同形状、同鉄筋量で行われた既往のデータ⁵⁾と今回の実験データとの比較を図-18に示す。

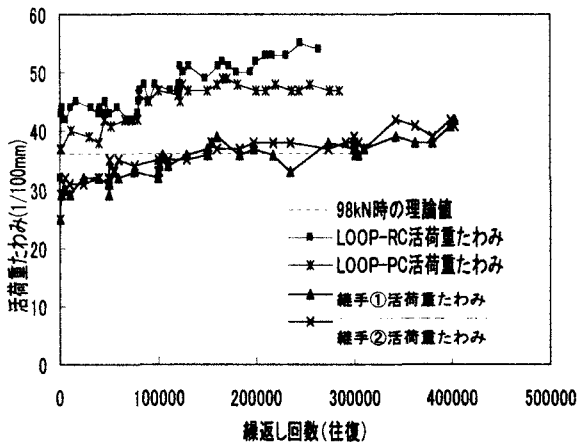


図-18 ループ継手とらせん筋継手のたわみ比較
(載荷：98kN)

従来のループ継手と比較すると、約30%程度活荷重たわみが減少した。これは、継手の改良効果よりもむしろ今回の継手コンクリートに混入されている膨張コンクリートによって一体性が向上したためと考えられる。しかし、これらを考慮してもらせん鉄筋を挿入した継手構造は従来のループ継手構造と性能的に有意な差異は認められず、床版部と継手部は一体的で弾性的な挙動を示すことがわかった。

4. 結論

新しく考案したらせん鉄筋継手構造は、ループ筋内に挿入する主鉄筋の代わりにらせん鉄筋を挿入するものである。これまでに行った曲げ、せん断による全ての試験結果から、らせん鉄筋は、らせんの円内でコンクリートの中にループ鉄筋を拘束する効果があることが確かめられた。また、直筋の重ね継手にらせん鉄筋を挿入した継手でも同じ効果が発揮できることが確認できた。また、実物大床版供試体による輪荷重走行試験では、設計荷重の2倍以上の走行荷重に対してもプレキャスト床版部とらせん鉄筋継手部とが一体的で弾性的な挙動を示すことがわかった。これらのことから、新しく考案したらせん鉄筋継手は、プレキャスト床版継手として実橋に十分活用できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 松井・竹中・安福・長谷川：らせん鉄筋を有するPca床版継手部の性能について（静的実験），土木学会第54回年次学術講演会 PP.326-327 平成11年9月
- 2) 松井・金・大石・三鼓・安福・青野：らせん鉄筋継手を有したプレキャスト床版の輪荷重走行試験による性能評価，平成12年度土木学会関西支部年次学術講演会
- 3) 金・松井・大石・安福：らせん鉄筋を有するPca床版継手の性能について（疲労実験），土木学会第54回年次学術講演会 PP.328-329 平成11年9月
- 4) 佐藤・金・松井・大石・三鼓・青野：プレキャスト床版継手の純引張特性に関する実験的研究，平成12年度土木学会関西支部年次学術講演会
- 5) 松井・角・向井・北山：RCループ継手を有するプレキャストPC床版の移動載荷試験，第6回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，PP.149~154, 1996年