

ハーフプレキャスト合成スラブ下端鉄筋の 定着方法に関する実験的検討

山 田 尚 義 三 島 徹 也
原 夏 生 肥 沼 年 光^{*1}

要 旨

鉄道高架構造物の合理化施工法の開発を目的として、著者らはプレキャスト型枠工法の適用に関して数年にわたり研究している。現在までに、スラブ部の施工に関しては、プレストレスを導入したハーフプレキャスト部材を適用することで、無支保化が可能であることを施工実験により確認している。

本研究は、鉄道RCラーメン高架橋にハーフプレキャスト合成スラブを適用する際の課題の一つであるハーフプレキャストに内包されているスラブ下端鉄筋の定着方法に着目したものである。著者らは、ハーフプレキャスト部材に、製作コストアップの要因となるハンチを設けず、スラブ下端鉄筋の定着を重ね継手によって行う方法を提案し、モデル試験体による正負交番載荷実験を実施した。その結果、重ね継手筋量を、在来工法と同程度の曲げ耐力となる様に配置することで、地震時に発生する繰り返し荷重に対して、同程度の変形性能を有することを確認できた。

キーワード スラブ／ハンチ／ハーフプレキャスト部材／スラブ下端鉄筋／重ね継手

目 次

- | | |
|---------|---------|
| 1. はじめに | 3. 実験結果 |
| 2. 実験概要 | 4. まとめ |

STUDY ON THE METHOD OF ANCHOR IN THE HALF PRECAST COMPOSITE SLAB

Takayoshi YAMADA	Tetsuya MISHIMA
Natsuo HARA	Toshimitsu KOINUMA

Synopsis:

We have been developing the constructing method of rigid frame elevated bridge using pre-cast form to rationalize construction for several years. It was checked by the construction test that the support-less method of construction becomes possible by applying the half pre-cast slab, which introduced pre-stressed.

As for this research, it paid attention to the way that the slab bottom edge reinforcing bars involved in the half pre-cast form which is one of the subject to apply to the rigid frame elevated bridge. It was proposed that Haunches weren't set up in half pre-cast members, and the way that the slab bottom edge reinforcing bars is lap splices. . We carried out cyclic loading tests. As a result, it is confirmed that is the same deformation capacity when an earthquake appeared.

* 1 日本カイザー(株) 土木製品グループ

1. はじめに

1.1 研究の背景

都市部では鉄道需要の増加に伴う複々線化，あるいは道路渋滞の緩和などを目的として，鉄道の高架化事業が推進されている．一般的にこの様な工事は，都市部営業線の近接状況下で，営業線を切り回しながら進められているのが現状であり，郊外での新線建設に比べ，多大な工費，工期を要する．これらのことから，鉄道高架構造物の施工には，工期短縮と安全な工事の実施を目指した合理的な工法の開発が望まれている．

この様な背景を考慮し，著者らは，一般的な鉄道高架橋の構造形式である RC ラーメン高架橋に対して，耐震性能および経済性に優れた工法の開発を目的として，プレキャスト型枠を適用した合理化施工法の開発を行っている^{1)~4)}．その一環として，スラブの施工合理化工法の開発を行った．本工法は，線路方向に分割したハーフプレキャスト部材を用い，中間スラブに関しては，線路直角方向にプレストレスを導入することにより，無支保でスラブの施工を実現するものである．図-1 に鉄道ラーメン高架橋スラブの施工法の概念図を示す．

1.2 ハーフプレキャスト部材のスラブへの適用

通常，RC ラーメン高架橋スラブは，四辺が線路方向梁と線路直角方向梁に固定支持された 2 方向スラブとして設計され，スラブ主鉄筋は梁部へ十分定着される．また，スラブ端部にはハンチが設けられるのが一般的である．

現在までに，ハーフプレキャスト合成スラブの継手部に着目した静的耐力および疲労性状の検討を行い，2 方向スラブとしての設計を可能としている．しかしながら，RC ラーメン高架橋スラブにハーフプレキャスト部材を適用するには，次に示すような課題が残されている．

- ① ハーフプレキャスト部材に内包されているスラブ下端鉄筋の力を確実に梁へ伝達できる定着方法の開発．
- ② スラブのハンチの取り扱い．

①に関しては，ハーフプレキャスト部材端部から，予めスラブ下端鉄筋を延ばしておくことで，梁部へ定着させることが可能であるが，梁上部の主鉄筋を，ハーフプレキャスト部材架設後に設置しなければならない等，現場配筋作業が増える．また，②に関しては，ハンチを設けることは可能ではあるが，ハーフプレキャスト部材製作時に底版を加工する必要がある，製作コスト上昇の一因となっている．そこで，本工法においては，ハーフプレキャスト部材にハンチを設けず，スラブ下端鉄筋の定着を重ね継手によって行うものとした．

一般的には，耐震設計時において，スラブ単体での変形性能は要求されていない^{5),6)}．しかしながら，地震時の大変形時において，安全性を確認する必要があると考える．そこで本工法では，在来工法と同程度の耐力および変形性能を有することを目標とした．本論文は，モデル試験体による正負交番載荷実験を実施し，在来工法と比較検討を行ったものである．

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は，鉄道 RC ラーメン高架橋の中間スラブと線路方向梁の接合部をモデル化したものであり，全 2 体である．図-2 に試験体配筋図を，表-1 に試験体スラブ基部断面の諸元を，表-2 に使用材料の一覧を示す．

① No.1 試験体(在来型)

在来工法をモデル化した試験体であり，スラブ端部にハンチを設けてある．現場一体打ちを模擬しており，試験体も一体打ちで製作した．なお，スラブ基部の破壊が先行するように，一般部に補強鉄筋を配置している．

② No.2 試験体(HPCa 型)

本工法で提案する試験体であり，ハーフプレキャスト部材に内包されているスラブ下端鉄筋の梁への定着は，重ね継手構造(重ね継手長：40φ=760mm)とし，在来型試験体のハンチ基部断面の曲げ耐力と同程度となる様に配

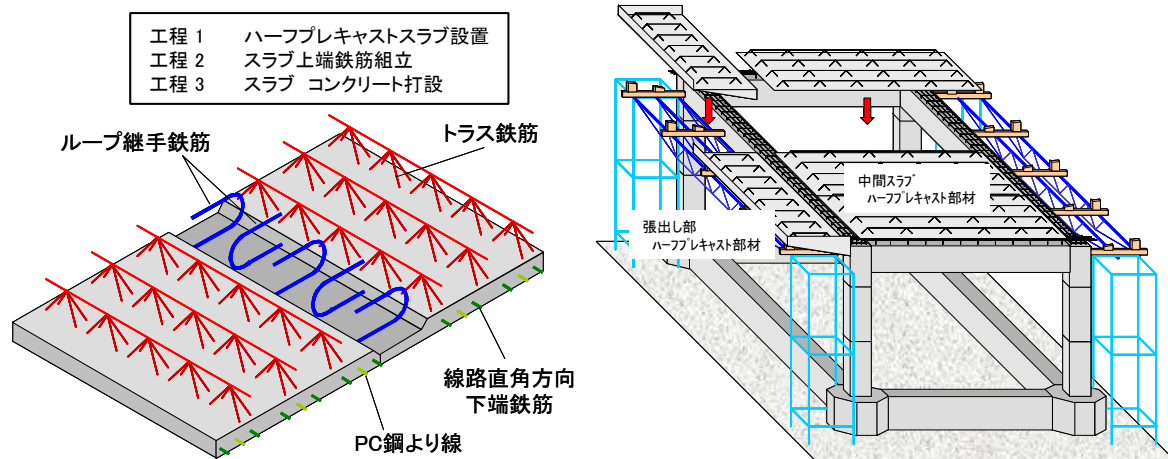


図-1 スラブ施工方法概念図

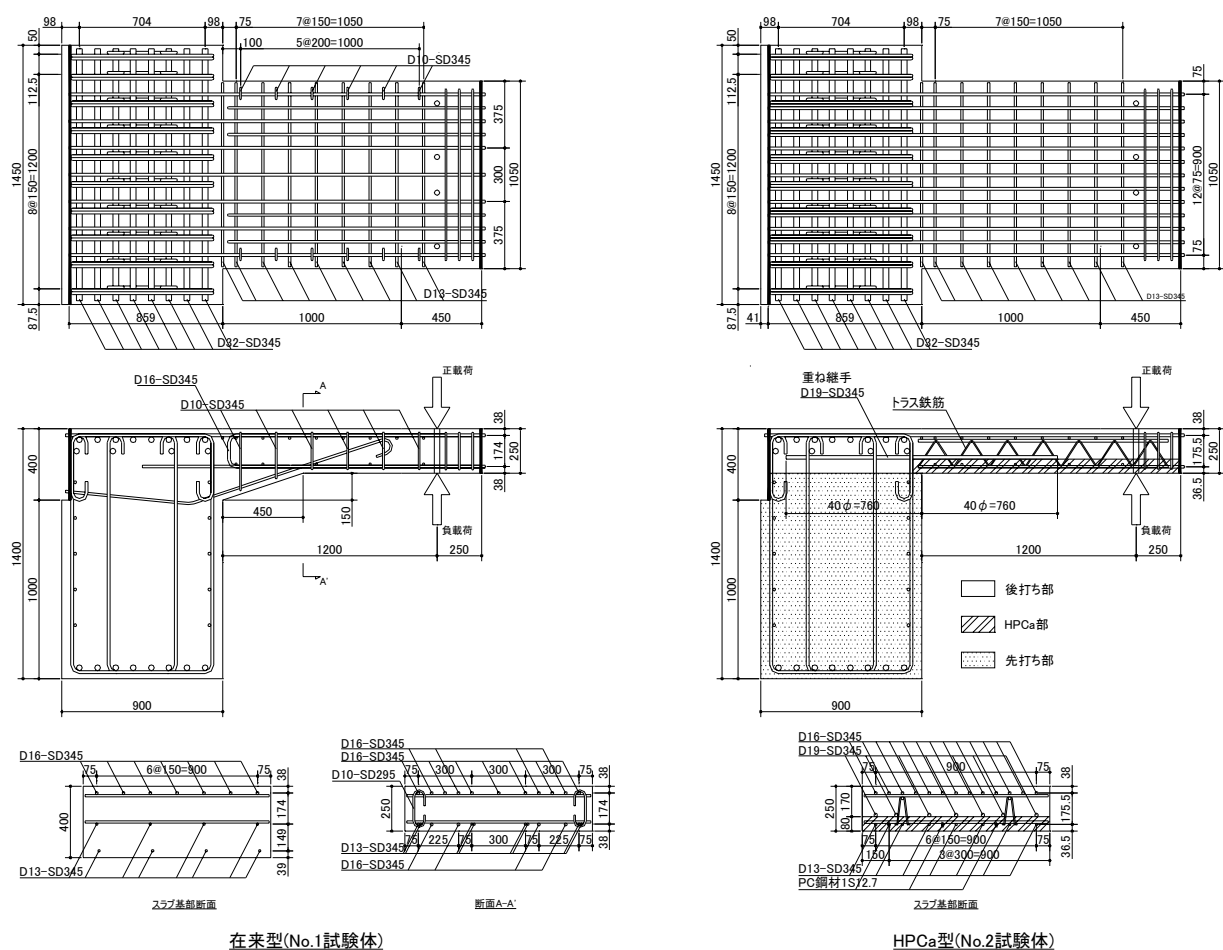


図-2 試験体配筋図

表-1 スラブ基部の断面諸元

		せん断スパン a mm	スラブ基部諸元					
			断面幅B mm	断面高H mm	コンクリート強度 N/mm ²	主鉄筋		鉄筋比 As/(BH)
						材質	径	
No.1	在来型	1200	1050	400	32.6	SD345	D16(7本) D13(8本)	0.57%
No.2	HPCa型	1200	1050	250	31.5(HPCa部) 59.4(後打ち部)	SD345	D16(13本) D19(7本)	1.75%

筋を決定した。なお、ハーフプレキャスト部材の厚さは80mmであり、梁部への架かり長さは50mmである。実施工においては、ハーフプレキャスト部材にプレストレスを導入するが、本実験においては、プレストレスを導入せずPC鋼より線を鉄筋と同様に配筋した。

製作は、実施工を考慮して、ハーフプレキャスト部材設置面まで梁部を先行して打設し、ハーフプレキャスト部材を設置する。その後、スラブ上端鉄筋を配置し、残りの部分を打設する手順で行った。なお、実施工においては、止水の目的で、ハーフプレキャスト部材接地面にエポキシ樹脂系接着剤等を塗布することとしているが、本実験においては使用していない。

2.2 載荷方法

図-3 に載荷装置を示す。地震時の荷重を想定して、梁

表-2 使用材料一覧

●コンクリートの力学的性質

試験体	部位	圧縮強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²
No.1(在来型)	-	32.6	25.1
No.2 (HPCa型)	先打ち部	31.0	23.0
	HPCaスラブ	59.4	33.5
	後打ち部	31.5	24.5

●使用鋼材の力学的性質

径	材質	降伏強度 N/mm ²	ヤング係数 kN/mm ²	引張強度 N/mm ²
φ7	SWRM8	583	216	598
D10	SD345	357	190	499
D13	SD345	394	184	552
D16	SD345	375	183	571
D19	SD345	368	186	568

※φ7の降伏強度は、0.2%耐力

部の端を固定し、両端ピン接合の油圧ジャッキによりスラブ端部に正負交番荷重を載荷した。なお、載荷は、図のようにスラブに自重がかからないように設置して行い、スラブへの軸力は導入していない。

載荷は、スラブに対して、ひび割れ発生時、主鉄筋 1000 μ 相当で正負各 1 回ずつ行った。その後、正側、負側、ともにスラブ基部の引張側最外縁鉄筋降伏時の加力点水平変位をそれぞれ $\pm 1 \delta_y$ とし、以降その整数倍の変位で、 $\pm 2 \delta_y$ 、 $\pm 3 \delta_y \cdots$ と各ステップ 3 回載荷した。また、実験は、スラブ基部における曲げモーメントが、降伏時のスラブ基部曲げモーメントを下回るまで行った。

2.3 計測方法

主な計測項目は、荷重、スラブの水平変位および鉄筋ひずみ等であり、適切な位置に変位計とひずみゲージを取り付けた。荷重の計測には油圧変換器を使用した。また、スラブの変位は、梁部に取り付けた不動梁から計測した相対変位である。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

表-3 に実験結果の一覧を、図-4 に最大荷重時のひび割れ状況を示す。

① No.1 試験体(在来型)

最外縁鉄筋降伏時、スラブ基部から 800mm 程度の範囲で、ほぼ等間隔に曲げひび割れが発生した。変形が進む

につれ、正側はスラブ基部から 100mm 程度下側の、負側はスラブ基部から 100mm 程度上側のひび割れが顕著となった。両側ともに $5 \delta_y$ 時に最大荷重に達した後、正加力側に関しては基部から上下 100mm 程度、負加力側に関しては基部から 200mm 程度のかぶりコンクリートが剥離し、ハンチ筋の破断により急激に耐力が低下、終局を迎えた。なお、正加力側の引張鉄筋は破断していない。

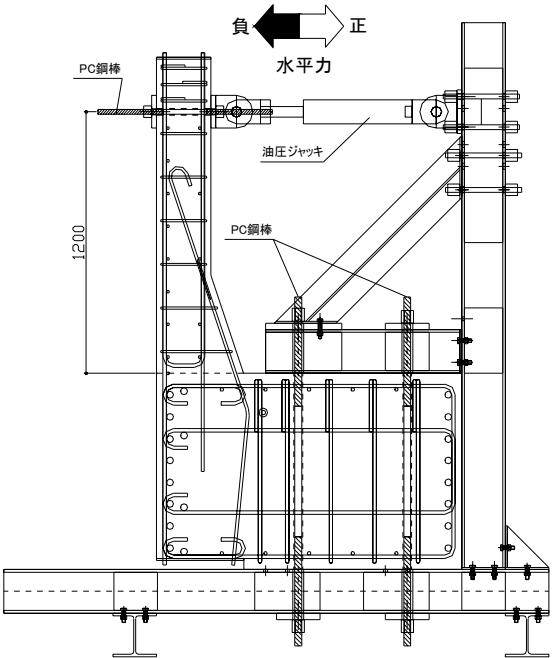


図-3 載荷装置

表-3 実験結果一覧

		在来型(No.1試験体)						HPCa型(No.2試験体)					
		実験値		計算値*1		$\delta_{exp.} / \delta_{cal.}$	$P_{exp.} / P_{cal.}$	実験値		計算値		$\delta_{exp.} / \delta_{cal.}$	$P_{exp.} / P_{cal.}$
		変位 $\delta_{exp.}$ mm	荷重 $P_{exp.}$ kN	変位 $\delta_{cal.}$ mm	荷重 $P_{cal.}$ kN			変位 mm	荷重 kN	変位 mm	荷重 kN		
主鉄筋降伏時	正	7.4	166.4	7.9	155.5	0.94	1.07	9.2	142.1	10.3	152.5	0.89	0.93
	負	-3.5	-67.4	-6.7	-73.3	0.53	0.92	-10.6	-87.2	-11.9	-85.2	0.89	1.02
最大荷重時	正	41.0	204.0	23.6	181.9	1.74	1.12	18.4	191.2	21.1	176.6	0.87	1.08
	負	-17.6	-97.1	-22.7	-98.2	0.77	0.99	-63.7	-87.5	-21.7	-91.4	2.94	0.96
終局時	正	69.9	166.4	32.3	155.5	2.17	1.07	96.6	142.1	35.2	152.5	2.75	0.93
	負	-32.4	-67.4	-34.4	-73.3	0.94	0.92	-74.3	-87.2	-28.5	-85.2	2.60	1.02

*1: No.1試験体の計算値・・・変位算出時はハンチ部分を考慮せず、耐力算出時はハンチ部分を考慮している。

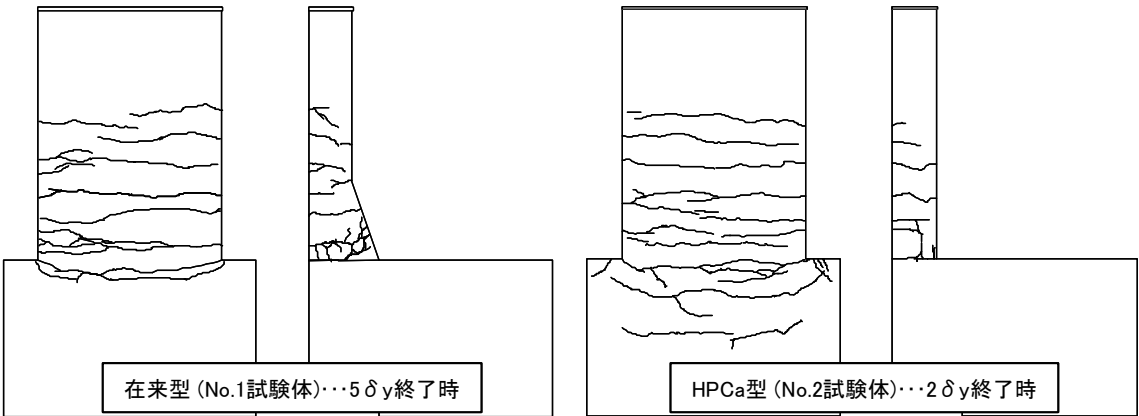


図-4 最大荷重時のひび割れ状況

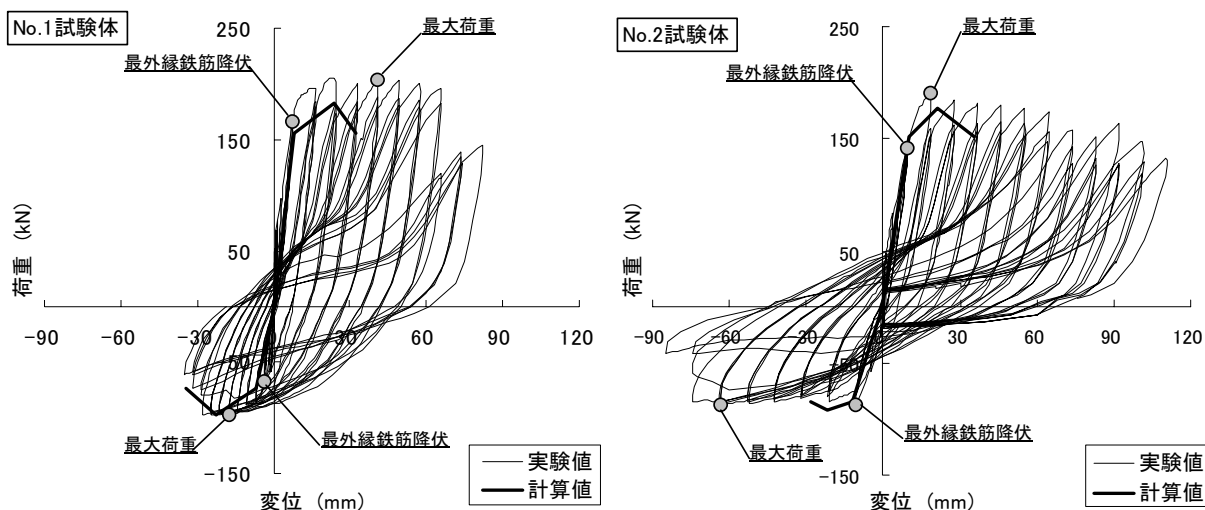


図-5 荷重-変位関係

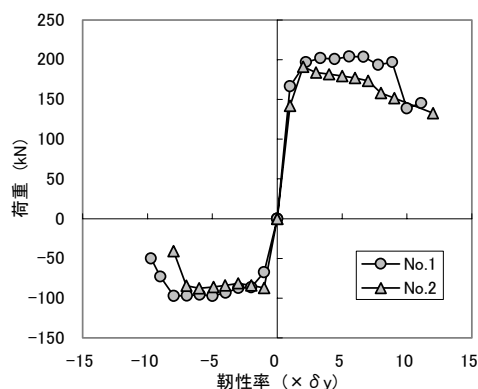


図-6 包絡線の比較

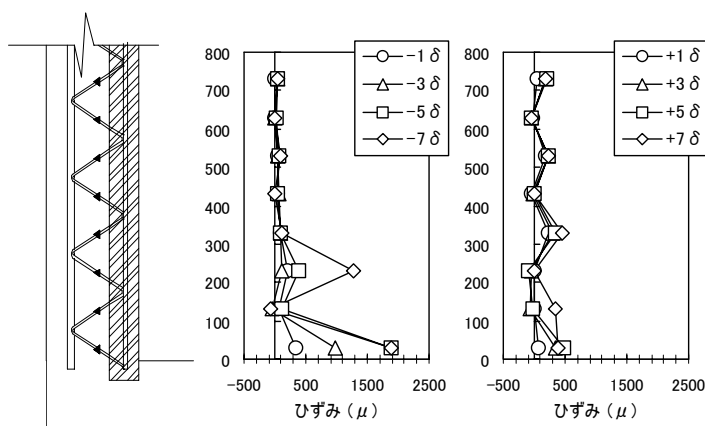


図-7 トラス鉄筋のひずみ分布

② No.2 試験体(HPCa 型)

最外縁鉄筋降伏時のひび割れ状況に、No.1 試験体と明確な違いは見られなかった。2δ_yの最大荷重時において、ハーフプレキャスト部材と後打ち部の打ち継ぎ目に沿ったひび割れが、スラブ基部付近に発生した。変形が進むにつれ徐々にひび割れが進展したが、顕著な耐力低下は見られなかった。その後、6δ_y~7δ_yにおいて、正加力時引張側のかぶりコンクリートが剥離、落下し始めると、負加力側は急激に耐力が低下し、終局を迎えた。それにとともに、正加力側も緩やかに耐力が低下し、鉄筋が破断することなく終局を迎えた。

3.2 耐力及び変形状

図-5に各試験体の荷重-変位関係を、図-6に包絡線の比較を示す。変位は、水平力載荷位置の、梁部に対するスラブの相対水平変位である。図中の実線は、文献 6)に準拠して算出した計算値である。なお、No.1 試験体は、耐力算定時はハンチ部分を考慮しているが、変位算出時はハンチ部分を考慮していない。また、包絡線の比較は、各試験体の正負それぞれの降伏変位によって無次元化したものである。

正加力側の最大耐力に関しては、両試験体とも計算値を上回り、ほぼ同程度であった。一方、負加力側の最大耐力は、両試験体ともわずかではあるが計算値を下回った。No.1 試験体の負加力側のみ、2δ_y以降も耐力が増加したが、それ以外は、耐力の増加は見られなかった。これは、No.1 試験体の負加力側以外の断面においては、最外縁鉄筋が降伏した後は、断面内でそれ以上の引張力を負担できなくなるためであり、No.1 試験体の負加力側のみ、ハンチ筋降伏後もスラブ下端鉄筋が引張降伏するまでは耐力が増加したものとする。

No.1 試験体の降伏時の変位は、No.2 試験体と比較して、正加力側は2割程度小さく、負側は1/3程度であった。文献 6)に準拠して、ハンチを考慮せず算出した計算値と比較しても、同様であるため、ハンチの有無により、降伏時の変位が異なるといえる。また、No.2 試験体は、計算値と比較して、降伏時において同程度、終局時はそれ以上の変形性能を有している。これらより、ハンチの有無により降伏までの剛性に違いがあるものの、終局変位は同等以上であるといえる。

3.3 ひずみ分布

図-7にNo.2 試験体の7δ_y終了時までのトラス鉄筋の

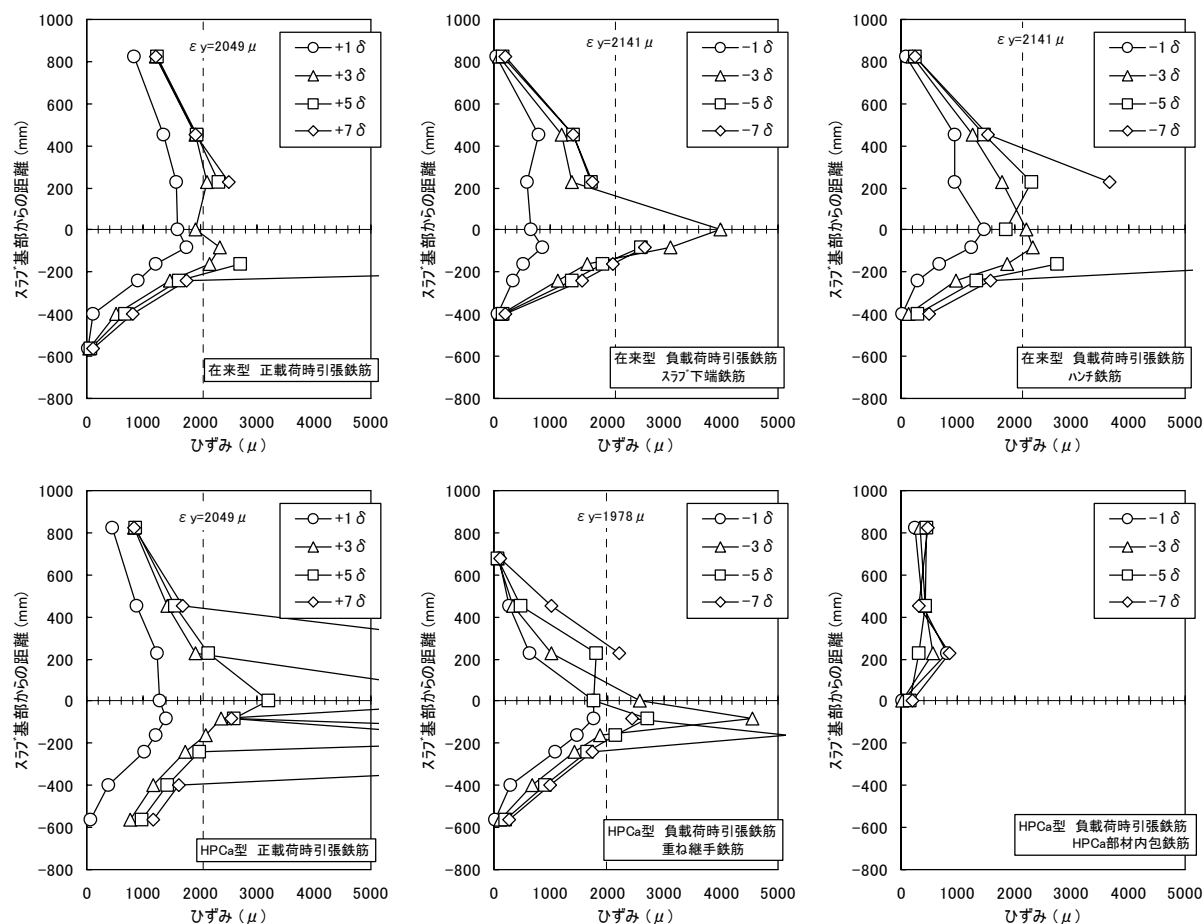


図-8 スラブ軸方向鉄筋ひずみ分布

ひずみ分布を示す。変位が増加するとともに、トラス鉄筋のひずみは増加した。これは、ハーフプレキャスト部材と後打ち部の打ち継ぎ面に発生したひび割れの進展と一致しており、ひび割れ発生後は、せん断力の伝達をトラス鉄筋により受け持ったためと考える。なお、トラス鉄筋は、終局時においても降伏には至らなかった。

図-8 に各試験体の軸方向鉄筋のひずみ分布の一例を示す。なお、ひずみは終局時近辺の7δy終了時までであり、測定値の信頼性が低いと判断したものは省いてある。正加力時には、終局時までの主鉄筋のひずみ性状に明確な違いは認められなかった。No.2 試験体の重ね継手鉄筋は、終局時まで鉄筋付着により引張力を伝達できていることが確認できる。

4. まとめ

鉄道RC ラーメン高架橋において、スラブにハンチを設けず、ハーフプレキャストスラブ下端鉄筋を重ね継手により梁部へ定着する方法を提案し、確認実験を行った。その結果、重ね継手筋量を、在来工法と同程度の曲げ耐力となるように配置することで、地震時に発生する繰返し荷重に対して、在来工法と同等以上の変形性能を有することが確認できた。

参考文献

- 1) 中島, 三島, 田畑, 秦, 戸塚, 佐藤: 鉄道高架構造物へのプレキャスト型枠の適用に関する研究—工法の概念と施工性確認試験—, 前田建設技術研究所報 Vol.39, pp25~32, 1998.9
- 2) 小原, 原, 鈴木, 三島, 戸塚, 佐藤: 鉄道高架構造物へのプレキャスト型枠の適用に関する研究—ステンレス鋼繊維混入プレキャスト型枠を適用した部材の構造的な性能—, 前田建設技術研究所報 Vol.39, pp33~40, 1998.9
- 3) 近藤, 三島, 山田, 柏原, 谷村, 佐藤: 鉄道高架構造物の施工の合理化に関する研究, 前田建設技術研究所報 Vol.41, pp1~8, 2000.9
- 4) 山田, 福山, 原, 三島, 大屋戸, 谷村: 鉄道高架構造物へのプレキャスト型枠の適用に関する研究—プレストレスを導入したハーフプレキャストスラブの無支保化工法—, 前田建設技術研究所報 Vol.42, pp17~24, 2001.9
- 5) 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, 1999.12
- 6) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善, 1999.10