

本設利用 PC 工事桁連続化における閉合重ね継手構造の開発

土井至朗*¹・渡辺繁樹*²・佐藤茂美*³・益田彰久*¹

概 要

昨年度までに、本設構造物として利用できる PC 工事桁を開発し、適用範囲拡大のため複数の PC 工事桁の連続化の開発に取り組んできた。今回は高価な連結鋼材に替わる方法として閉合鉄筋を使用した重ね継手による構造を開発し、静的曲げ試験、曲げ疲労試験、振動試験等の性能確認試験を行った。その結果、要求性能を満たすと共に、コストダウンを図れる構造であることが確認できた。

キーワード：PC 工事桁，連結部，連続化

DEVELOPMENT OF A CLOSING LAP JOINT FOR MAKING THE PC WORK GIRDER
CONTINUOUS SO IT CAN BE CONVERTED TO A PERMANENT MEMBERShiro DOI*¹, Shigeki WATANABE*², Shigemi SATO*³, Akihisa MASUDA*¹

Abstract

The PC work girder convertible to permanent member had been developed through last year, with the goal of expanding the applicable range of this technique, and efforts have been deployed to make several PC work girders continuous. The authors developed a lap joint made by closing re-bars at the junction, which will replace high-cost steel joints, and carried out performance tests, including static bending test, bending fatigue test and vibration test. These tests revealed that the structure constructed with the developed lap joint is capable of reducing costs while satisfying the performance requirements.

Keywords: PC work girder, jointing portion, making continuous

*1 Material / Structure Group, Construction Technology Center, Engineering Division

*2 Associate General Manager, Planning Department, Engineering Division

*3 Manger, PC Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

*4 Manger, Material / Structure Group, Construction Technology Center, Engineering Division

本設利用 PC 工事桁連続化における閉合重ね継手構造の開発

土井至朗*1・渡辺繁樹*2・佐藤茂美*3・益田彰久*1

1. はじめに

従来、線路下の工事に使用される工事桁は仮設物で、工事完了後に撤去が必要となるため、工費や工期の増大につながっていた。そこで、当社では本設構造物として利用できる工事桁を開発してきたが、昨年度は適用範囲の拡大をめざし、工事進捗に伴う仮設柱や基礎の配置変更に対応するため、列車活線化で連続化が可能なシステムを開発した。本研究では、施工精度の向上とコストダウンが期待できる閉合鉄筋を用いた重ね継手構造¹⁾による連結構造を開発した。

2. 閉合重ね継手連結部の構造

今回開発した閉合重ね継手による連結部の概要図を図-1に示す。PC 工事桁端部にループ上の鉄筋が配置されており、連結時に向かい合わせになったループ状鉄筋の間に閉合鉄筋を配置し、連結部に間詰めモルタルを打設するものである。

ここで、この構造で連続化する際、次に示す課題があげられた。

- ・ 鉄筋のラップ長が $2D$ と短いため、間詰めモルタルが硬化した後に連続体としての挙動を示すかどうかの確認
- ・ 配筋が非常に密であるため充てんする間詰めモルタルに十分な流動性と材料分離抵抗性が要求される。
- ・ 間詰めモルタルを使用するため、RC 部材の評価式がそのまま適用できるかどうかの確認

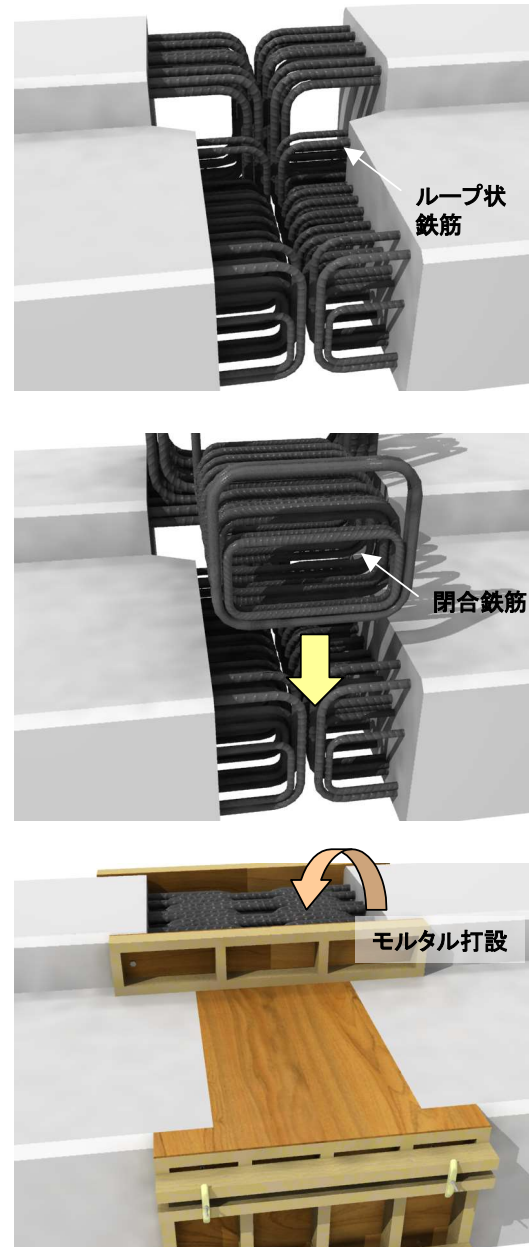


図-1 閉合重ね継手概要図

以上のような点を確認するため、各種性能確認試験を行った

*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 材料・構造グループ

*2 エンジニアリング本部 計画部 土木計画グループ

*3 エンジニアリング本部 土木技術部 PC グループ

3. 使用材料

前述したように、連結部の配筋は非常に密であり、間詰めとして使用するモルタルには高い流動性と材料分離抵抗性が求められるため、粉体量は $769\text{kg}/\text{m}^3$ と多めになった。今回の一連の試験で使用した間詰めモルタルの使用材料および配合例を表-1, 2に示す。

フレッシュ性状はフロー値の試験を行い、JIS R 5201 のフローコーンを使用し落下動作は行わず $240 \times 240\text{mm}$ 、空気量は 1.6%であった。

圧縮強度は設計基準強度 $60\text{N}/\text{mm}^2$ に対し、材齢 2 週で $74.5 \sim 85.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であった。

4. 性能確認試験

4.1 静的曲げ試験

閉合重ね継手連結部の耐力を知るため、静的曲げ載荷試験を行った。図-2に工事桁の寸法および配筋図を示す。試験体はこの工事桁の一部を模した断面高さ 540mm、幅 500mm の矩形断面の部分モデルとし、図-3に示す載荷装置で試験を行った。せん断スパン、載荷スパンはともに 2m とした。

試験中は荷重の増加とともに曲げひび割れが発生・進展し、1000kN 前後で試験体中央および打ち継ぎ部の引張鉄筋が降伏した。その後試験体中央のたわみが大きくなるとともに荷重は徐々に上がり続け、最終的には圧縮側のモルタルが破壊し、試験は終了した。写真-1に連結部の破壊状況を示す。ひび割れは打ち継ぎ目に向かって斜めに進展する傾向が見られた。連結部での大きなズレは認められず、一体構造として機能していることが確認できた。

試験結果を図-4に示す。図には今回の試験体を一般の RC 部材として計算した場合の降伏および終局耐力の算定値を併せて記してある。同図より、荷重、変位ともに RC 部材として算定されるものと同等であることが確認できた。

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント	密度 $3.14\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $4420\text{cm}^2/\text{g}$	宇部三菱セメント社製
混和材	膨張剤	密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$	太平洋マテリアル社製
細骨材	細骨材1 陸砂	表乾密度 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 2.08%、粗粒率 2.40	茨城県鹿島郡神栖町産
	細骨材2 川砂	表乾密度 $2.59\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 1.30%、粗粒率 3.50	中国福建省福州市産
混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物	ポゾリス社製

表-2 配合

W/B (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		水	セメント	膨張剤	細骨材1	細骨材2	混和剤
32.0	2.0	246	738	31	1022	256	10.3

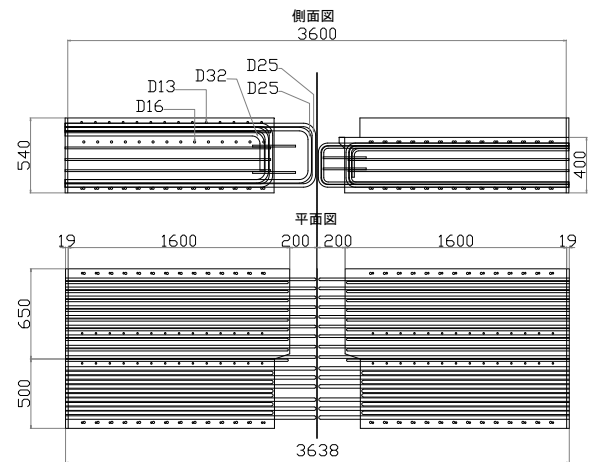


図-2 試験体配筋図

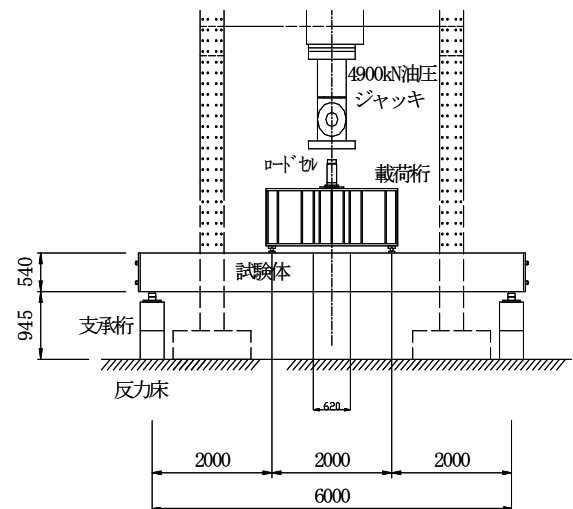


図-3 曲げ試験載荷装置

4.2 せん断試験

連結部のせん断耐力を確認するため、写真-2に示すようなせん断試験を行った。閉合重ね継手の施工が計画されている区間の設計せん断力は 355kN であり、写真はせん断力 400kN 作用時のものである。継手部には曲げひび割れのみが発生し、せん断ひび割れは認められなかった。また、既設部の内継ぎ目付近にもループ鉄筋のダウエル効果によるひび割れも認められず、設計せん断力に対して十分な安全性が確認できた。

4.3 曲げ疲労試験

工事桁は繰返し列車の走行荷重を受けるために、疲労特性を把握しておかなければならない。そこで、疲労試験を行った。

接合部の疲労強度は RC 部材と同じく、引張鋼材で決定されるものと考えられるが、この連結部の構造では、引張鉄筋を折り曲げ加工しているため、加工による低減を考慮した。低減を 65%とした引張鉄筋の疲労特性を図-5に示す。設計上の変動応力範囲は 0~124.8N/mm² であるため、最大応力度振幅 124.8N/mm² による約 125 万回の荷重回数を試験条件とした。試験体は高さ 540mm×幅 350mm×長さ 4100mm (荷重スパン 1300mm, せん断スパン 1200mm) の部分モデルとした。

繰返し荷重の値は、配筋や荷重条件から下限値は永久荷重相当の 52kN とし、上限値は下限荷重+最大応力度振幅相当荷重の 392kN とした。荷重には 300kN 対応のアクチュエータおよび荷重フレーム 2 台を使用し、2 台のアクチュエータを同期させて荷重を行った。

126 万回荷重終了時のひび割れ状況を写真-3に示す。継手部での破壊は起こらず、静的荷重時と同様に曲げひび割れは打ち継ぎ目に向かう傾向が見られた。図-6に荷重と試験体中央のたわみの関係を示す。繰返し荷重初回時と終了時で剛性の変化は認められず、繰返し荷重終了後も健全であることが確認できた。また、疲労試験終了後に静的荷重試験

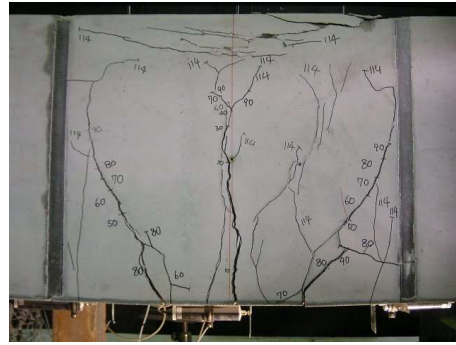


写真-1 静的載荷破壊状況

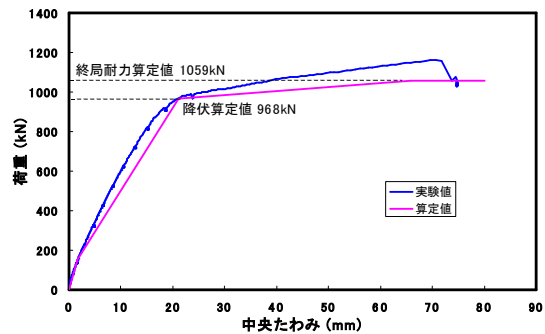


図-4 静的曲げ試験結果

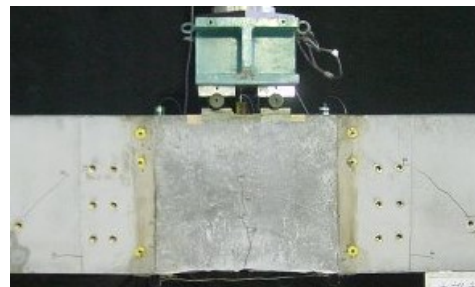


写真-2 設計せん断力作用時のひび割れ状況

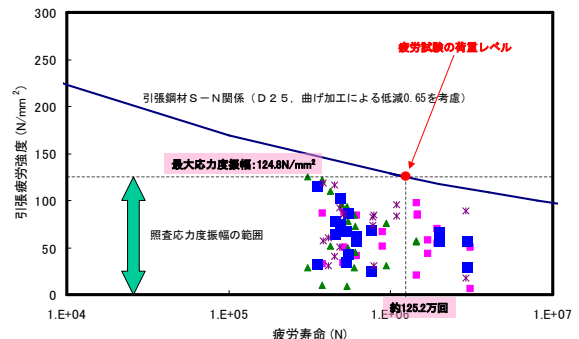


図-5 折り曲げ加工を施した鉄筋の疲労特性

を行ったところ、健全な試験体と同等の耐力を有していることが確認できた。

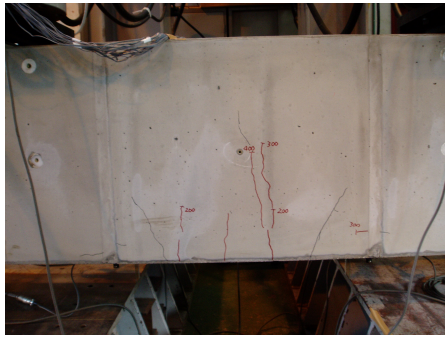


写真-3 疲労試験後ひび割れ状況

4.4 振動試験

列車走行による振動や変形が連結部の耐力に及ぼす影響を確認するため、振動試験を行った。連結部にモルタルを打設する前に試験装置に試験体をセットし、モルタル打設直後から試験体に列車荷重相当の振動を与えるものである。

試験体は部分モデルとし、配筋も実物を忠実に模したものとした。荷重は、まずモルタル打設前に予備荷重を行い、列車の走行荷重から求めた目標変位量 1.5mm となる載荷荷重を確認した。

図-7 にモルタル打設直後から試験終了までの、48 時間の変位振幅量の経時変化のグラフを示す。モルタル打設後約 5 時間までは目標変位の 1.5mm で振動していたが、モルタルの硬化とともに変位量は減少していき、およそ 11 時間後にほぼ 0mm となった。その後は試験終了まで 0mm を保っていた。

図-8 にモルタルの凝結試験結果を示す。図-7 で変位の振幅量が減少し始めた時間が凝結の開始した時間とほぼ一致しており、また振幅量が 0mm になった時間がモルタル凝結の終結時間とほぼ一致していることから、継手部の変形はモルタルの凝結で決定されているものと考えられる。振動試験終了後、耐力を確認するために行った静的載荷試験結果を図-9 に示す。図に示すように、算定値と同等以上の耐力を有しており、振動を与えたことによる耐力への悪影響はないことが確認できた。

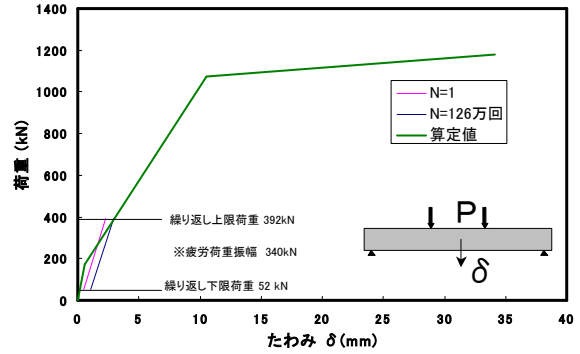


図-6 荷重-たわみ関係

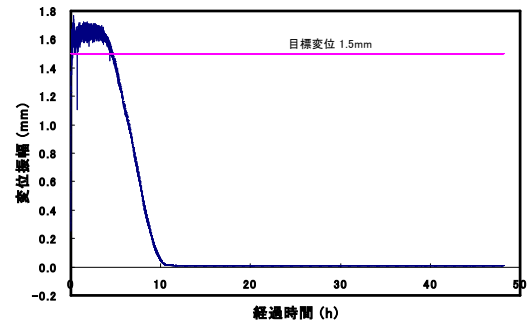


図-7 変位量の経時変化

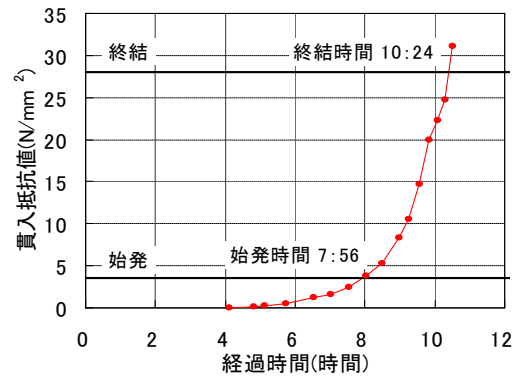


図-8 モルタルの凝結試験結果

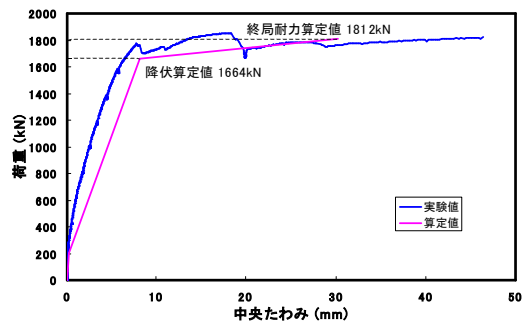


図-9 静的載荷試験結果

しかし、振動試験中、型枠の隙間からわずかに水漏れが確認され、試験体上部のふせ型枠端部からも気泡が発生するのが認められた。試験終了後に脱型したところ試験体側面、下面は良好な仕上がりとなっていたものの、試

験体上面はモルタルの沈降や、空気が抜けたと見られる穴が数カ所見られた。これは、モルタルの強度が発現しないうちから型枠に振動を与えたため、振動によって出来た空隙にモルタルが流れ込み、沈降が生じたものと考えられた。そこで、モルタル打設から列車の走行までの間に硬化を完了させ、振動時にはモルタルの未硬化による変形を生じさせないように、超速硬性セメントを用いることとした。硬化中に振動を与えた場合の状態を確認するため、超速硬性セメントを用いて同様の振動試験を行った。

超速硬モルタルを用いた場合の変位量の経時変化を図-10に、超速硬モルタルの凝結試験結果を図-11に示す。図-10に示すように、変位振幅は荷重開始直後から減少しており、荷重開始からおおよそ45分後に0.6mmとなり減少はなくなった。また、試験中の水やモルタルの漏れは見られなかった。写真-4に脱型後の試験体表面の状況を示す。幅0.1mm未満の微細なひび割れは見られたものの、大きなモルタルの沈降や穴は発生しておらず、良好な仕上がり状態を確認できた。

4.5 施工性確認試験

PC工事桁継手部の鉄筋組や型枠組の際には、レールやホームなど支承物が想定されるため、それらを再現した状況で施工性の確認試験を実施した。

その結果、鉄筋組は約60分、型枠組は約40分と、線閉時間内にそれぞれの作業が完了できることを確認できた。

5. まとめ

以上の一連の試験より連結部の性能について、次のことが確認できた。

- ・連結部の部材性能について、一般的なRC部材と同等な方法で耐力の算定が可能である。
- ・疲労特性について、引張鋼材から算定されるものと同様である。
- ・列車荷重の振動による耐力の影響はなく、静的荷重試験体と同等の耐力を有している。

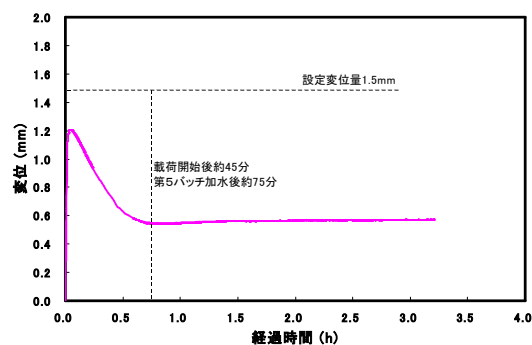


図-10 超速硬モルタルを用いた場合の変位量の経時変化

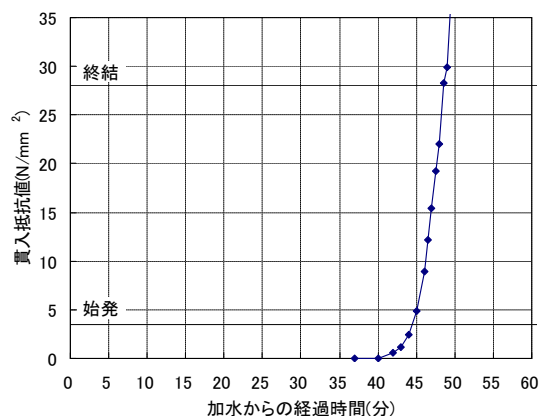


図-11 超速硬モルタルの凝結試験結果

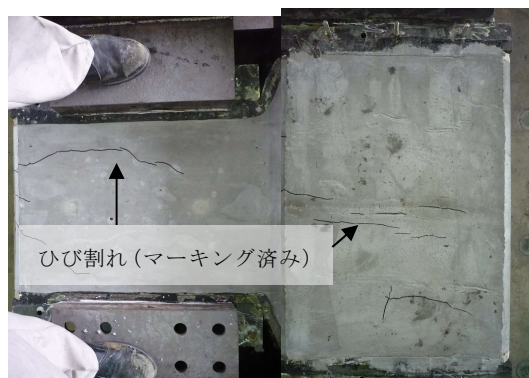


写真-4 振動試験終了後の試験体表面状況

・この継手構造で線閉時間内に限られたスペースで実施工が可能である。

また、今後の課題としては超速硬モルタルの可使時間を考慮した、現場でのモルタル混練の体制等の検討が必要である。

参考文献

1) 渡邊明之, 石橋忠良, 西島和男, 栗栖基彰: 閉合形状に曲げ加工した鉄筋の重ね継手の耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 No. 763 pp. 133-149 2004.6