

本設利用 P C 工事桁連結部 (R C 継手) の開発

鉄建建設 (株)	エンジニアリング本部	正会員	菅原 広道
鉄建建設 (株)	エンジニアリング本部	正会員	佐藤 茂美
鉄建建設 (株)	エンジニアリング本部		川又 篤
鉄建建設 (株)	エンジニアリング本部		石崎 太郎

1. はじめに

本設利用 P C 工事桁 (以下 P C 工事桁) 工法は、従来の工事桁工法がかかえる施工日数とコストの増大といった課題を解決する新たな工事桁工法として、平成 15 年から開発が進められてきた¹⁾。

当初、単純桁として開発した P C 工事桁は、連続化できる従来の鋼製工事桁と比べて適用範囲が制限されることから、その後、鋼製連結部材を用いた桁の連続化技術²⁾の開発による適用範囲の拡大が図られた。

しかし、昨今の鋼材価格の急騰により鋼製連結部材の製作コストが増大したことに加え、実施工において連結部の施工精度を確保するために、桁の製作や設置に対してもこれまで以上に高い精度が要求されるという新たな課題が生じたため、鋼製連結部材に代わる安価で施工性の良い継手構造の開発が必要となった。

本稿では、このような課題を解決するために新たに開発した「鉄筋閉合重ね継手 (以下 R C 継手) を用いた連結構造」について、構造、性能確認試験および施工性確認試験の概要を報告する。

2. 連結部の構造概要

連結部の構造概要および R C 継手の配筋状態 (C G) を図 - 1, 2 に示す。

R C 継手は、P C 工事桁を連結する際に向かい合わせとなるループ状の鉄筋 (一次閉合鉄筋) の間に閉合鉄筋 (二次閉合鉄筋) を配置し、の曲げ加工部内方に鉄筋 (支圧補強鉄筋) を挿入する継手方法であり、最後に間詰めモルタルを打設し一体にすることで連結部が完成する。

R C 継手の特長を以下に示す。

- ・閉合鉄筋 を突合せ配置することで、桁架設を上方だけではなく、側方からも可能にしている。
- ・閉合鉄筋 の加工はループ形状ではなく、一般的な曲げ加工 ($R=2.5D$) としている。
- ・閉合鉄筋 を多段配置することで、鋼材量を確保している。
- ・閉合鉄筋 の鉛直部分をせん断補強鉄筋として評価できる。

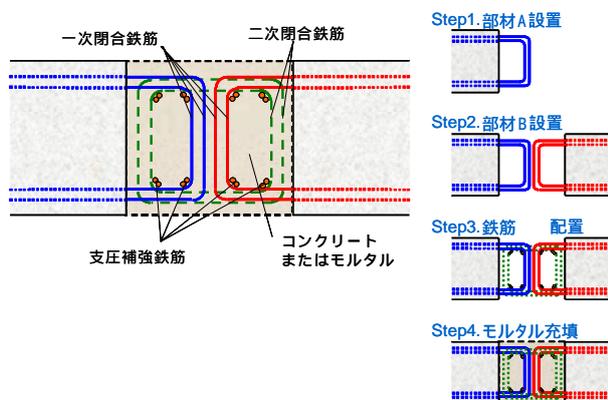


図 - 1 連結部概要図

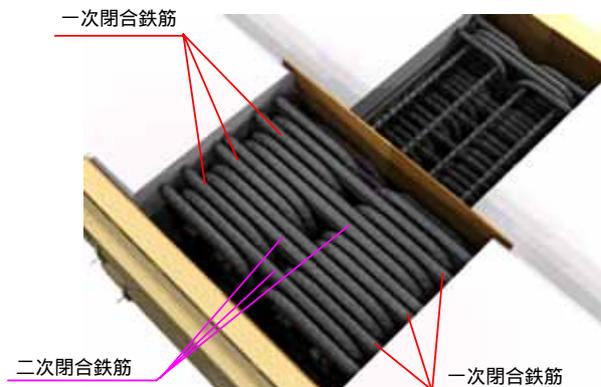


図 - 2 R C 継手イメージ図

3. 技術的課題および実証試験

R C 継手を用いた連結構造の開発における主な課題を次に示す。

- ・ R C 継手は鉄筋の直線部のラップ長が 2D と短く，連結部としての性能について確認が必要。
- ・ R C 継手を用いた場合の連結部の耐力算定式について検討(一般の R C 部材の設計方法との比較)が必要。
- ・ 高密度配筋中に充填する間詰めモルタルの流動性と材料分離抵抗性の確認が必要。

以上の課題を解決するため，表 - 1 に示す確認試験を行った。

表 - 1 確認試験項目

試験項目		試験の目的	試験体	結果
構造性能	静的載荷試験	接合部の耐力確認 (一般的な R C 構造)	部分断面	OK
	高サイクル疲労試験	列車荷重による長期疲労耐久性確認		OK
	振動試験	間詰めモルタル硬化中に列車振動が作用した場合の耐力確認		OK (耐力)
施工性	型枠・鉄筋配置	型枠設置・鉄筋配置の施工性確認	実断面	OK
	振動 (外観確認)	型枠性能 (モルタル漏れ)、外観 (仕上り) 確認		OK (型枠)

4 . 確認試験

4 . 1 性能確認試験

R C 継手を用いた連結部について静的載荷試験と高サイクル疲労試験を行った結果，以下のことが確認できた。

- ・ 連結部の曲げ耐力は，一般的な R C 部材と同等な方法で算定した曲げ耐力と一致する (写真 - 1 , 図 - 3)。
- ・ R C 継手部の疲労特性については，引張鋼材から算定されるものと同等である。
- ・ 高サイクル疲労試験後の供試体でも耐力の低下は見られない。

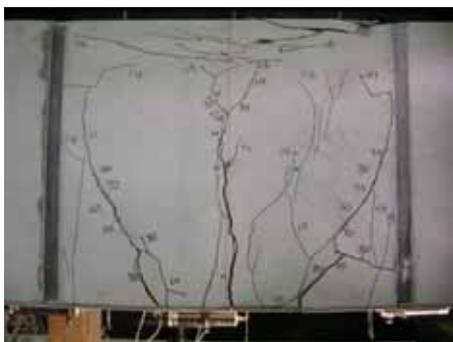


写真 - 1 静的載荷破壊状況

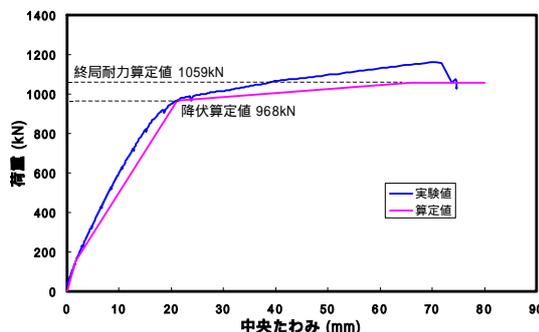


図 - 3 静的曲げ試験結果

4 . 2 施工性確認試験

R C 継手の鉄筋組や型枠組の際には，レールやホームなどの支障が想定される。そこで，想定される支障物を再現した状況で施工性の確認試験を実施した。また，間詰めモルタル打設完了後，モルタルが硬化するまでに列車が走行することを想定し，連結部の振動試験と振動試験後の静的載荷試験を実施した。

施工性の確認試験では，鉄筋組を約 60 分，型枠組を約 40 分で終了し，作業時間が限られる線路閉鎖時間内でも余裕をもって継手部の作業が行えることを確認できた。

振動試験では，間詰めモルタル硬化中に列車走行と同等の振動を与えた。その結果，硬化中に振動を与えた場合でも連結部の耐力は確保できることが確認できた。また，載荷後の供試体を切断して内部の充填状況を観察した結果，高い流動性を有する間詰めモルタルを用いることにより，密な配筋状態でも十分な充填性が確保できることを確認した。ただし，曲げ耐力には影響しないものの，振動により間詰めモルタル上面が沈下し，沈下部分にレイタンスが残るなど美観上好ましくない事象も見られた。

5. 連結部への超速硬モルタルの適用

間詰めモルタル上面の表面沈下および沈下部分のレイタンスは、モルタルが硬化前に振動を受けることにより発生すると考えられる。そこで、間詰めモルタルには列車走行までの短時間に硬化を開始する超速硬モルタル(フィルコンSスーパー:住友大阪セメント)を使用することとし、再度振動試験を実施した。また、超速硬モルタルの施工性についても確認を行った。

5.1 超速硬モルタルの性状

連結部の間詰めモルタルとして使用した「フィルコンSスーパー」は超速硬性無収縮モルタルのプレミックス製品である。以下に製品の特徴を示す。また、カタログに示されている配合例を表-2に示す。

- ・現場において所定水量を加えて練り混ぜるだけで使用できる。
- ・漏斗流下試験で管理できるほどの流動性を確保できる。
- ・材齢3時間でのカタログ強度が20 N/mm²を超えている。
- ・材齢28日のカタログ強度が約60N/mm²と高強度であり、材齢28日で45N/mm²以上確保できる。
- ・無収縮であるため、ひび割れを低減できる。

5.2 施工性の確認

超速硬モルタルを間詰め部に適用する場合、打設完了までは十分な可使用時間を有し、かつ、列車走行時には硬化し始めている必要がある。そこで、外気温と練混ぜ水温をパラメータとして確認試験を行った結果、練混ぜ水温を調整(遅延剤0%,水温約6℃)し、凝結開始時間を45分程度とすることで、25分程度の可使用時間を確保できることが確認できた。

また、超速硬モルタルは、急激に内部温度が上昇するため、養生条件によってはモルタルの表面にひび割れが発生する可能性があるが、写真-2に示すようにモルタル上面に透水シートを取り付けた蓋型枠を設置することにより通常のコンクリートと同様の仕上がりを確保できた。

施工時間については、練混ぜ開始からモルタル打設完了まで29分間(5回打設)、蓋型枠セット、片付けまでに20分間であり、十分に線路閉鎖時間内で作業可能であることが確認できた。

5.3 追加試験

上記で行った超速硬モルタルに関する確認試験については、練混ぜ水温を調整することで可使用時間を25分程度確保することができた。しかし、夜間線閉時間に行う実施工では現地で練混ぜ水温を調整することが困難であるため、練り混ぜ水として水道水をそのままの温度で使用した場合の管理方法(東京の場合)について検討を行った。

(1) 間詰めモルタルの要求性能

間詰め部に打設する超速硬モルタルの要求性能を以下に示す。

- ・打設完了までは十分な可使用時間を有し、かつ、列車走行時には硬化開始するように凝結始発時間は30~90分とする(練上り温度で管理する)
- ・流動性は土木学会規準における流動性試験(JSCE-F 531-1999)によりJP漏斗流下時間8~18秒とする。
- ・設計基準強度は45N/mm²とする。

表-2 配合例

配合	水材料比 (%)	単用量(kg)		練上り量 (リットル)
		フィルコンSスーパー	水	
示方	18.0	1875 (75袋)	338	1000
袋		25 (1袋)	4.5	約13.5



写真-2 蓋型枠+透水シート

(2) 練り混ぜ水温確認試験

超速硬モルタルは練上り温度により凝結時間が変化する。これを管理するためには、気温と練混ぜ水温と凝結時間の関係を把握する必要があった。そこで、気温と練混ぜ水温をパラメータとした実験を行った。

今回行った超速硬モルタルには通年安定した性能を発揮させるために、2タイプ(S,W)が用意されており、夏期と冬期でそれぞれ使い分けることとしている。しかし、練混ぜ水温の調整を行わずに施工を可能とするためには、SタイプとWタイプの間の性状を持つタイプが必要であり、新たにAタイプを追加した。表-3に東京の夜間施工時における各タイプの選定基準を示す。

表-3 超速硬モルタルのタイプ

タイプ	適用	選定基準
S	暑中期・標準期用	5月～10月
A	標準期用	3、4、11、12月
W	寒中期用	1、2月

表-4 温度管理表例 (Sタイプ)

気温 ()	練混ぜ水温 ()		練上り温度 ()	
	下限値 ¹	上限値 ²	下限値	上限値
15	8	40	12	29
16	6	39	12	29
17	5	38	12	29
18	5	37	12	30
19	5	36	13	30
20	5	35	13	30

*1:凝結始発時間90分、もしくは冷却限度
*2:凝結始発時間30分、もしくは加熱限度

表-4に試験結果より求めたSタイプの温度管理表の一部を例として示す。実験により定めた温度管理表に従えば、東京においては水道水をほぼ温度調整することなく凝結開始時間を30分～90分とすることができる。ただし、練混ぜ水温を調整する際には、既往の実験では氷を使用して5程度が冷却限度であったため、これを冷却限度とした。一方、練混ぜ水を加熱する場合には、モルタルの急結防止のため加熱限度を40とした。

また、温度管理表を用いて、写真-3に示す実施工をイメージした実物大模擬型枠打設試験により施工性の確認を行った。その際、何らかの理由でJP漏斗流下時間が管理値の上限値18秒を超えて(試験では23.1秒)流動性が低下した場合についても充填が可能であることを確認した。また、脱枠後の表面の仕上がり状態も良好であることを確認した(写真-4)。



写真-3 グラウトミキサー設置状況



写真-4 脱枠後表面仕上がり状況

6. おわりに

今回のRC継手による連結構造の開発により、PC工事桁の適用拡大に向けた技術的課題は概ねクリアすることができた。今後は、本設構造物として利用できるという従来工事桁工法に対する優位性を活かし、PC工事桁の新たな利用方法について検討を進めていく予定である。

なお、今回報告したRC継手は東日本旅客鉄道(株)との共同開発技術であり、開発にあたりご指導、ご協力をいただいた、構造技術センターの石橋所長をはじめとする関係者の皆様方には深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 竹中敏雄, 佐藤茂美, 石崎太郎, 松崎晴彦:「本設利用PC工事桁の開発」, 第14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.571-574, 2005.10
- 2) 渡辺茂樹, 佐藤茂美, 益田彰久, 好竹亮介:「本設利用PC工事桁連結部の開発」, 第15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.179-184, 2006.10