

接合部プレキャスト化部材のコンクリート強度打分け工法の開発

高森 直樹 林 和也 *1
佐藤 幸博 佐々木 仁 *2

概 要

超高層 RC 造建物施工の多くにプレキャスト工法(以下 PCa 工法)が採用されている。従来の PCa 工法ではあらかじめ柱部材と梁部材を製造し、現場において柱梁接骨組の建方を行い、その柱梁接合部にコンクリートを打設していた。それに対し、省力化による工期短縮、高強度コンクリートの現場打設の削減による現場管理の軽減を行い品質向上を目指して、柱梁接合部をあらかじめ PCa 工場で製造し施工する「接合部 PCa 化工法」を開発した。接合部を PCa 化した柱梁接合部-梁一体型 PCa 部材を製作するにあたり、梁と柱梁接合部で強度が異なるコンクリートの品質を確保し効率よく打分ける方法が必要である。

本報では、柱梁接合部の PCa 部材に異強度のコンクリートを打設する場合の打分けについて、施工性、打継ぎ部の性能向上を目的にした打分け型枠を用いたコンクリート連続打分け工法を提案する。以下に工法の手順を示す。①打分け型枠は、くし型鋼板と布材で構成される。鋼板が梁主筋をまたぐように梁端部に設置する。②型枠を設置後、梁部のコンクリートを打設する。③柱梁接合部のコンクリートを打設する。④接合部コンクリート打設後に、打分け型枠を上部へ引抜き、パイププレートにより引抜き時・引抜き後に両方のコンクリートに振動を与え、一体化を図る。⑤完成設計基準強度(F_c)で $36\sim 120\text{N/mm}^2$ のコンクリートを用いた模擬部材の実機施工実験と一体性確認実験により、異強度のコンクリートの打設間隔を制限すれば、本提案工法により確実に打分けが可能になり、PCa 部材のコンクリートに必要な構造性能を満足することが確認された。

Development of a New Concrete Casting Method for Precast Concrete Beam-Column Joint

Abstract

Precast construction methods are adopted in many high-rise RC building construction projects. Usually, concrete beam and column are cast and fabricated separately in precast fabrication factories, and the beam and column are connected on-site by further concrete casting. In order to shorten the construction period and improve the quality of the precast concrete further, a new method to continuously cast concrete with different strengths for beams, columns and their joints at the same time was developed. In the developed method, an innovative temporary forming system composed of plate and sheet was developed and used to enable different types of concretes to be cast into different parts (beam, column and joint) at the same time. In the manufacturing process, the temporary forming system was removed after casting concrete, and the concrete beam-column joint part was vibrated for completion of an integrated joint.

In this paper, the results of full scale tests for the precast beam-column joint carried out at a precast fabrication factory and laboratory tests to examine the mechanical performance of precast beam-column joint were shown. Also, the validity of this newly developed method was shown.

キーワード: 鉄筋コンクリート プレキャスト
打分け 高強度コンクリート

*1 東京支店技術部 *2 博士(工学)

§1. はじめに

超高層 RC 造建物施工の多くにプレキャスト工法(以下 PCa 工法)が採用されている。従来の PCa 工法ではあらかじめ柱部材と梁部材を製造し、現場において柱梁接骨組の建方を行い、その柱梁接合部にコンクリートを打設していた。それに対し、省力化による工期短縮、高強度コンクリートの現場打設の削減による現場管理の軽減を行い品質向上を目指して、柱梁接合部をあらかじめ PCa 工場で製造し施工する「接合部 PCa 化工法」を開発した¹⁾。

接合部 PCa 化工法において、接合部を PCa 化した柱梁接合部-梁一体型 PCa 部材を製作するにあたり、強度が異なる梁と柱梁接合部のコンクリートを、品質を確保し効率よく打分ける方法が必要である。

そこで打分けたコンクリートの品質確保とプレキャスト工場での作業性を考慮し、打分け型枠を用いた強度の異なるコンクリートの連続打設による打分け工法を開発した。その打分け工法の施工性と性能確認のために実施した実大寸法での実機施工実験、一体性確認実験の結果を報告する。

§2. 従来の打分け工法

2.1 従来の打分け工法の概要

従来の接合部 PCa 化部材の製造において、多くの PCa 工場では、柱梁接合部と梁のコンクリート強度が異なる場合、打分け部に金属性のラス網を打込むか、バラ板、エア型枠や鋼板等で仕切る方法を採用してコンクリート強度打分けを実施している。

ラス網の場合は高流動コンクリートを用いたときのモルタル分の漏れが多く、またラス網の防錆対策が必要である。エア型枠や鋼板等で仕切る場合、ある程度コンクリートが硬化するのを待ち、数時間後(もしくは翌日)に打分け型枠を取り外し、次のコンクリートを打設するため、硬化までの打設間隔をあける必要があり作業効率が悪く、またそのままでは打分け面がコールドジョイントになる可能性がある。コールドジョイントになった場合、建築物の耐荷性能、耐久性能等に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、打継ぎ部の耐荷性能を確保するために打継ぎ部の目荒しやシアコッター等の加工や防水処理等の打継ぎ処理が必要になり作業手間が増えることになる。

2.2 打分け部の曲げ試験

従来の打分け工法による強度の異なるコンクリートの打設間隔時間を想定して、強度の異なるコンクリートを打分けた試験体による曲げ試験を実施した。試験体は、長方形の型枠(100×100×400mm)の中央に打分け用の鋼板

型枠を設置して、片側に低強度側コンクリートを打設し、4時間後に打分け型枠を取り外し高強度側コンクリートを打設した。試験は JIS A 1106 の 3 等分点載荷法に従い、打設後 127 日に実施した。表 1 に試験体一覧、表 2 にコンクリートの性状、図 1 に曲げ試験結果を示す。試験体は F90 と F36、F150 と F60 の組み合わせで各 2 体とし、低強度側のコンクリートの単体(母材)の曲げ強度と比較した。土木学会のコールドジョイントに関する文献²⁾によれば、プレキャスト接合部に必要とされる曲げ強度は一体打ちの 70%とされているが、本曲げ試験の結果、F90+F36 は母材の曲げ強度の 83%を維持しているが、F150+F60 は母材の半分以下でありコールドジョイントが心配される。いずれの打分け試験体とも母材ではなく打分け面で破断していたことより、打分け部での異種強度のコンクリートの一体性が十分でなかったと予想される。

従来の打分け工法では、特に 150N/mm²の超える高強度コンクリートを用いた場合は、打設間隔時間のためコールドジョイントが発生し、打分け面でのコンクリートの一体性が懸念されるので、打設方法の改善が必要である。

表 1 実験条件

試験体	先打ち	後打ち	打設間隔	数
F90+F36	F36	F90	4h	2
F150+F60	F60	F150	4h	2

*F30、F60、F90、F150 の一体打ち試験体 各 2 体

表 2 コンクリートの性状

調合	W/C	スランプ	空気量	σ _B
F36	50	21	4.1	35.9
F60	35	45×43.5	1.5	74.9
F90	27	62.×61.5	1.3	102
F150	15	64.5×63.5	1.5	164

F36、60 は普通セメント、F90、150 はシリカヒューム混入セメント、W/C:水セメント比(%),スランプ試験は JIS A 1101 による、空気量(%)は JIS A 1118 による、σ_B:圧縮強度(N/mm²)、圧縮試験は JIS A 1108 による(現場封かん、材齢 28 日)

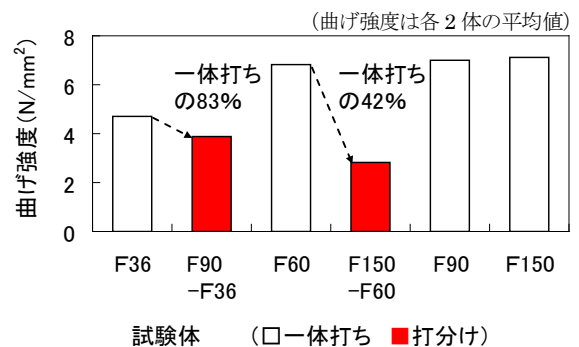


図 1 曲げ試験結果

§3. 打分け型枠を用いたコンクリート打分け工法

本報では、柱梁接合部の PCa 部材に異強度のコンクリートを打設する場合の打分けについて、施工性、打継ぎ部の性能向上を目的とした打分け型枠を用いたコンクリート連続打分け工法を提案する。以下に工法の手順を示す(図2参照)。

- ①打分け型枠は、くし型鋼板と布材で構成される。鋼板が梁主筋をまたぐように梁端部に設置する。
- ②型枠を設置後、梁部のコンクリートを打設する。
- ③柱梁接合部のコンクリートを打設する。
- ④接合部コンクリート打設後に、打分け型枠を上部へ引抜き、パイプレータにより引抜き時・引抜き後に両方のコンクリートに振動を与え、一体化を図る。
- ⑤完成

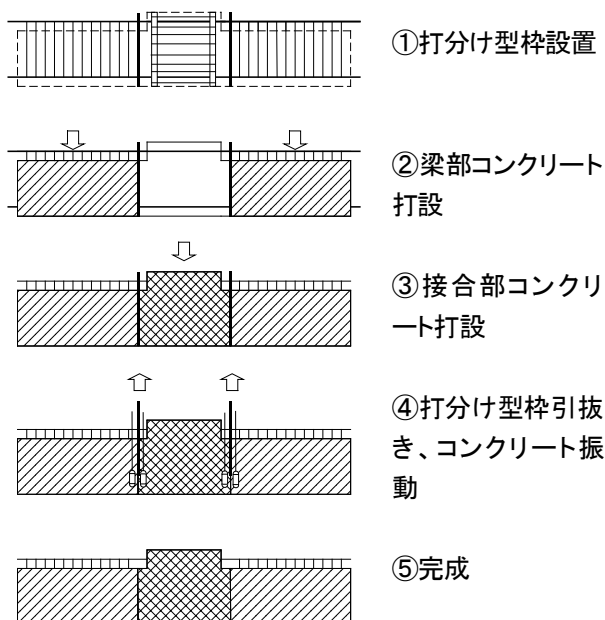


図2 打分け施工法

写真1のように、打分け型枠は、コンクリートの漏出を防ぐために、隙間を埋めるよう柔軟性のある布材を用いた。打分け型枠の引抜き時に、布材が梁主筋に当たり変形し簡易に引抜けるよう、鋼板と回転治具で接合した。布材にはコンクリートの付着を減らすため表面加工を施した。打分け型枠は梁部のコンクリートが接合部のコンクリートへの混入を防ぐために梁端から10cmの位置に設置する。

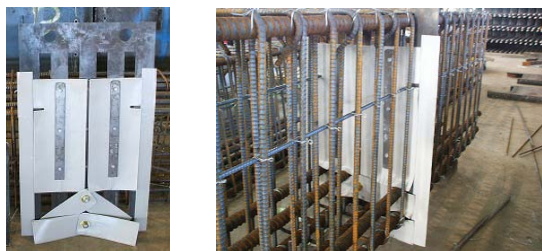


写真1 打分け型枠

§4. 実大実機施工実験

4.1 実験計画

本工法の課題は以下の3点になる。

- ①打分け型枠の打止め性能および引抜き施工性
- ②梁部と接合部のコンクリートの打設間隔時間の制限
- ③強度の異なるコンクリートの一体性

この課題を検証するために実機施工実験を計画した。

①については、特に流動性の高いコンクリートでの打止め性能、引き抜き施工性を確認するため、コンクリートの組合せは Fc36 と Fc60、Fc60 と Fc120 の 2 種類とした。

②については、コールドジョイントを発生させないために梁部と接合部のコンクリートの打設間隔時間をできるだけ短くすることが重要であるが、PCa 工場の施工の都合や複数部材を製作する場合を考慮し、打設間隔時間は JASS5 の打ち重ね時間間隔の許容時間内とし、具体的な時間は施工実験で確認することとした。JASS5 において、コンクリートの打ち重ね時間間隔の許容時間は、外気温が 25 度未満の場合 2.5 時間、外気温が 25 度以上の場合 2.0 時間を目安とし、先に打ち込まれたコンクリートの再振動可能時間以内と定められているため、施工実験での打設時間間隔(先打ちコンクリート打設完了から後打ちコンクリートの打設開始までの時間)は、30 分、60 分、90 分の3水準で実施することとした。

③の一体性については、施工実験試験体および模擬試験体を用いて確認することとし、5 章に示す。

図2に試験体形状の例、表4に試験体一覧、表5にコンクリートの性状に示す。試験体は超高層 RC 建物の大梁端部を想定し、実大寸法の幅 550×せい 650×長さ 2000mm とした。配筋は実験 1 と2は梁主筋のみで上下とも 4-D38 とし、実験 3 の梁主筋は 2 段筋を想定し上筋 4-D38、下筋 4+3-D38 で、せん断補強筋 4-D16@100 を配筋とした。試験体の長さの中央に打分け型枠を設置し、先打ちのコンクリートを打設後、所定の打設時間間隔において、後打ちのコンクリートを練り混ぜて打設し、打分け型枠をクレーンで引き抜き、打分け部に棒状パイプレータ(φ50mm)で 15 秒×4 回の振動を与えた。試験体は打設後 2 日で脱型し、打設後 21 日でコア抜きを行った。

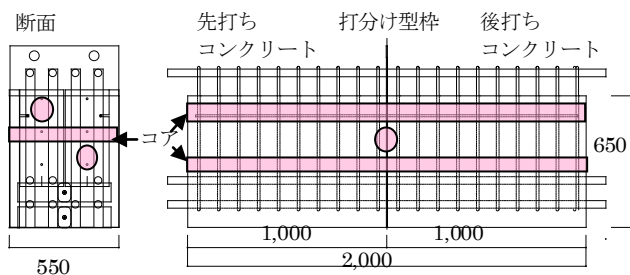


図3 試験体形状の例(実験3の場合)

表 4 試験体一覧

	先打ち	後打ち	打設間隔(分)	時期
実験 1	Fc36	Fc60	30, 60, 90	9 月
実験 2	Fc120	Fc60	30, 60, 90	10 月
実験 3	Fc60	Fc120	30, 60, 90	12 月

表 5 各コンクリートの性状

実験	種類	W/C	スランプ スランプフロー	空気量	σ_B
1	Fc36	42	20.0	1.7	48.7
	Fc60	30	22.5	2.9	78.5
2	Fc120	13	66.0×65.0	2.2	157
	Fc60	30	22.0	1.7	78.8
3	Fc60	30	22.0	1.7	79.1
	Fc120	13	69.5×69.5	1.9	148

Fc30、Fc60 は普通セメント、Fc120 は SFC セメント使用(膨張材、収縮低減剤添加)、W/C:水セメント比(%),スランプ、スランプフロー(Fc120のみ)(cm):JIS A 1101、1151、空気量(%):JIS A 1118、 σ_B :圧縮強度(N/mm²)(コア、材齢 28 日):JIS A 1108。

4.2 施工実験結果

4.2.1 打分け工法の施工性

表 6 に各施工実験での施工性の優劣を、先打ちコンクリートの打止め性能、打分け型枠の引抜き施工性、再振動の施工性のそれぞれの項目において、◎○△×で示す。打ち止め性能とは、先打ちコンクリートを打設した時の漏れによる打ち止め性能、ほとんど漏れない場合が◎で、多少の漏れが○としている。引抜き施工性は、打分け型枠を引抜き時にバイブレータなしで容易に引抜ける場合を◎、バイブレータで振動を与えながら引抜きが必要な場合を○としている。再振動は、先打ちコンクリートの再振動が可能な場合は○、時間経過により打設途中から再振動が困難になった場合を△、最振動が困難な場合を×とした。

実験 I では、写真 2 に示すように、バイブレータ振動時に鉄筋まわりからノロの漏れが少し見られたが、その量はわずかで硬化後は分からなくなっていた。打設間隔 90 分では引抜き抵抗が高くバイブレータをかけながらの引抜きが必要であった。

実験 II では、写真 2 に示すように、型枠の隙間から先打ちの Fc120 の漏れが生じたが、硬化後にはその部分が一体化したことをたたくことで確認した。打設間隔 30 分の試験体でも Fc120 の表面にこわばりが発生し、引抜き後もそのこわばりが残り、表面を均すことが出来ず表面は波打ったままになった。打設間隔が大きくなるほどその程度はひ

どくなり、90 分後の試験体では先打ちの Fc120 コンクリートはバイブレータによる再振動も困難であった。

実験 III では、2 段筋に対応した型枠のため、他の実験より厳しい条件であったが、打ち止め性は良かった。打分け型枠引抜き時に、打設間隔 30 分では 60 分、90 分では引抜き抵抗が高く、Fc60 と Fc120 とも型枠へのコンクリートの付着が多いことと 2 段筋部分の布材の回転を行うためにバイブレータをかけながらの少しずつ引抜きが必要であった。打設間隔 90 分での再振動は可能であったが、その 20 分後の打設終了後には Fc60、Fc120 とも再振動はかなり困難であった。

表 6 打分け工法の施工性

実験	先打 コン	後打 コン	打設 間隔	打止 め性	引抜き 施工性	再振動
1	Fc36	Fc60	30 分	◎	◎	○
			60 分		◎	○
			90 分		○	○
2	Fc120	Fc60	30 分	○	◎	△
			60 分		○	△
			90 分		○	×
3	Fc60	Fc120	30 分	◎	○	○
			60 分		○	○
			90 分		○	△



写真 2 Fc36 の漏れと打設間隔 90 分での引抜き状況

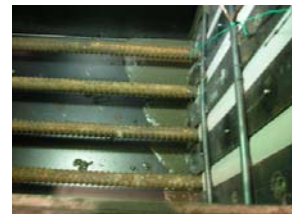


写真 3 Fc120 の漏れと打設間隔 30 分での引抜き状況

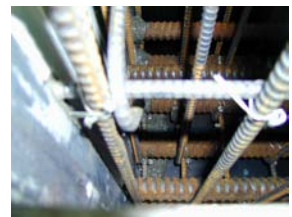


写真 4 Fc60 漏れと打設間隔 90 分での引抜き状況

4.2.2 プロクター貫入抵抗試験

コールドジョイントの発生を判定する指標には、先打ちコンクリートの凝結性状を予測できるプロクター貫入抵抗値を用いることが妥当で、文献2)においては貫入抵抗値 $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ がコールドジョイントの発生の指標となっており。本施工実験において、それぞれの先打ちコンクリートにおいてプロクター貫入試験(JIS A 6204)を実施した。図 4 に先打ちコンクリート打設後の経過時間とプロクター貫入抵抗値の実験結果を示す。図より貫入抵抗値が $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ になる打設間隔時間は Fc36 では約 120 分で Fc60 では約 100 分であるので、Fc36 は実験の範囲ではコールドジョイントの発生は少ないが、Fc60 は打設間隔 90 分では施工途中にコールドジョイントが発生する可能性が考えられる。実験3で打設間隔 90 分で途中から先打ちコンクリート(Fc60)の再振動が困難になった事実からも推測できる。しかしながら、Fc120 については貫入抵抗値は 120 分を超えても 0 であったが、実際は 30 分程度でこわばりが発生し再振動が困難であったことから、他の評価指標を用いて判断する必要がある。

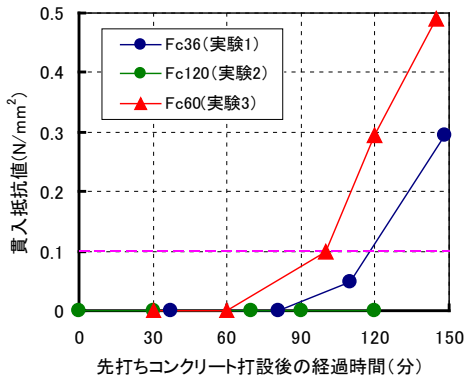


図 4 プロクター抵抗値と経過時間との関係

§5. 打分け部のコンクリートの一体性確認試験

施工実験で製作した試験体とそのコア供試体および施工実験時に同じコンクリートを用いて作製した模擬試験体を用いて、硬化したコンクリートの打分け部の混入状況および一体性を確認する。表 6 に試験項目を示す。

コアは図3に示すように打分け面を含んで 3~4 箇所試験体から抜き取った。

異なる強度のコンクリートの混入の範囲については、試験体の外観とその試験体のコアから目視で判定し、そのコアによる圧縮試験、比重から検証する。

5.1 混入範囲

Fc36 は練り混ぜ時にコンクリートを着色し、型枠脱型時に外観とコアでの打分け部のコンクリートの練り混ぜり範囲を観測した。その範囲は打ち分け位置より 50mm 以内で

表 6 試験項目

試験項目	試験方法	供試体
混入範囲	目視	外観, コア
混入範囲	圧縮強度 比重	コア
ひび割れ	目視	外観, コア
割裂強度試験	JIS A 1108	コア
簡易せん断試験	土研式	コア
打ち分け曲げ試験	JIS A 1106	模擬試験体 10×10×40cm

あった。

打分け部より 50mm 以上はなれた位置で採取されたコアの比重、圧縮強度より同一強度内ではばらつきが少なく、異なるコンクリートの練り混ぜりはないと考えられる。

他の試験体においても同様の結果であり、混入範囲は打分け位置より 50mm 以内であることが確認された。

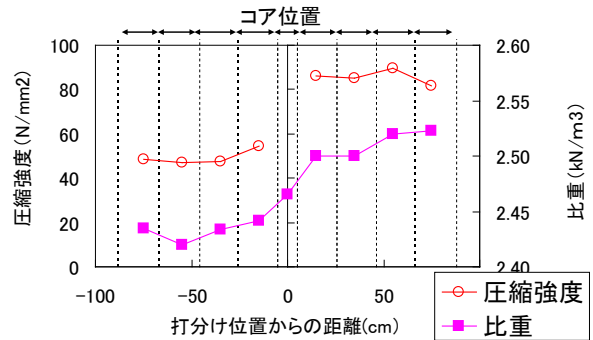


図 5 コア抜き圧縮試験結果(実験 1、打設間隔 90 分)

5.2 ひび割れによる一体性の確認

実験 1 の打分け部のコアは、打設間隔 60 分の下部で振動不足と考えられる 1 箇所割れがあったが、それ以外の 11 本のコアは割れがなく一体化を確認した。

実験 2 の全ての試験体の打分け面に割れはなかったが、Fc120 側に打分け面から 150mm 程度入った箇所に 1~2mm のひび割れが表面に発生し、内部のコアでも表面と同じ位置で割れが確認された。

実験 3 で外観およびコアの割れは観測されず、打分け部が一体化していたことを確認した。

5.3 割裂引張試験

4 章の施工実験の打分け面を含むコア供試体(φ100×185mm)各 3 本を用いて割裂引張試験を実施し、打分け部での引張強度を評価した。各試験体の引張強度を打分けコンクリートの低い強度の単体での引張強度で除して曲げ強度比として示す。曲げ強度比は打設間隔により減少する傾向はあるがその減少率は、後述する曲げ強度比に比べて小さかった。

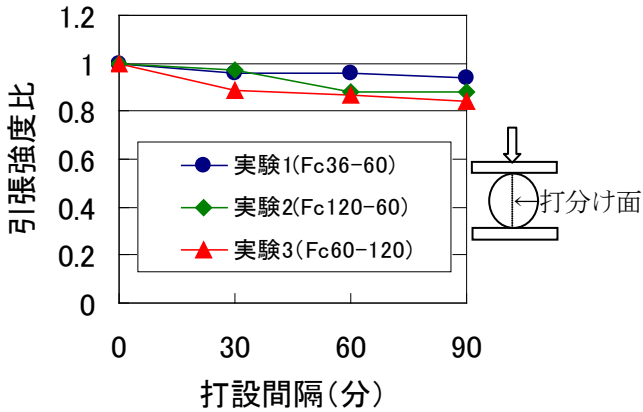


図6 打分け部の割裂強度と打設間隔の関係

5.4 簡易一面せん断試験

文献 1) の簡易一面せん断試験方法を参考に、写真のような打ち分け面と加力方向の角度を 25 度、30 度、40 度となるように、打ち分け部を含むコア試験体 (φ 100 × H100 mm) を用いて、高強度無収縮モルタルで加力スタブを製作してせん断試験体を作成した。実験1(Fc36-60)のコアでのせん断実験を実施し純せん断応力を求めた。各試験体のせん断強度を打分けコンクリートの低い強度 F36 の単体でのせん断強度で除してせん断強度比として示す。打分け部の純せん断応力は打設時間間隔により減少する傾向はあるがその差は少ない。実験時に打ち分け面でのせん断すべりは観測されなかった。せん断に対しても一体性が保たれていたと考えられる

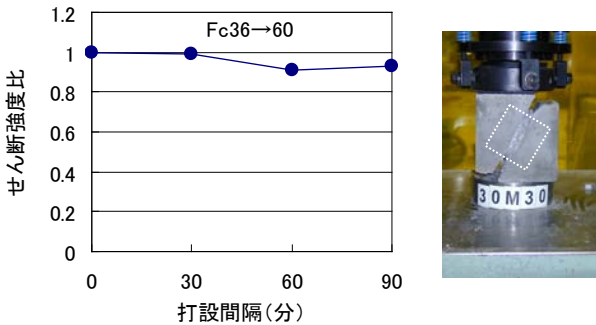


図7 打設間隔と打分け部のせん断強度(Fc36-60)

5.3 曲げ試験

曲げ試験体は4章の施工実験と同じ条件を模擬して作製した。図8に曲げ試験結果を示す。打分けコンクリートの低い側強度の単体での曲げ強度を各試験体の曲げ強度を除して曲げ強度比として示す。実験1においては、打設間隔による強度の低下はほとんど無かった。実験2では実大試験体に比べて寸法が小さいためか実大試験体と異なりひび割れは生じず、90分においても曲げ強度比0.8を上回った。実験3においては、打設間隔が長くなる

ほど曲げ強度が小さくなり 90 分で接合部に必要とされる強度比 0.7²⁾を下回った。よって Fc36-60 の打設間隔は 90 分でもいいが、Fc60-120 は打設間隔 60 分で制限すべきと考える。

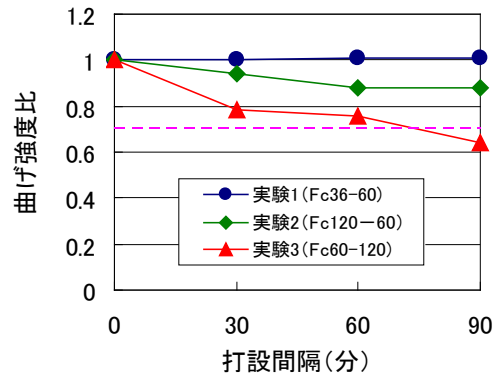


図8 打分け部の曲げ試験結果

§6. まとめ

柱梁接合部 PCa 化部材の製造において、打分け型枠を用いた強度の異なるコンクリートの連続打設による打分け工法は、実大施工実験と一体性確認実験により、以下の条件で実現可能性があることが分かった。

- (1) 本工法での Fc36 と Fc60 の打分けは打設間隔を 90 分以内に制限し、Fc60 と Fc120 の打分けは打設間隔を 60 分以内に制限することで、確実に打分け施工が可能になり、接合面に必要な構造性能を満足する。
- (2) Fc120 のコンクリートは 30 分程度で表面こぼれが発生し、再振動が困難になる。その影響で部材にひび割れが発生する可能性が高いため、本工法においては 30 分以内に再振動ができるよう計画する必要がある。

謝辞 本開発は株式会社テクノマテリアル千葉工場 (担当: 前田貴博氏、林政明氏) と共同で行いました。また、貴重なご意見、ご協力をいただいたテクノマテリアル千葉工場、フジタの超高層RC住宅施工プロジェクトの皆様へ深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 林和也、高森直樹、佐藤 幸博、佐々木 仁、寺岡 勝: 柱・梁接合部をプレキャスト化した部分架構に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、2006。
- 2) 土木学会 コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策、コンクリートライブラリー103、2000。



高森 直樹

ひとこと

今後は、超高層 RC 造建物の実施工へ向けて、この工法を取り入れ更に進んだ PCa 化施工システムを構築し、現場への普及に努めていきます。