

打重ね継目性状に及ぼす 打込み締固め方法の影響

澤本武博¹・辻正哲²・山田保³・藤田智靖³・来海豊⁴

¹学生会員 修士(工学) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 野田市山崎2641)

²正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 野田市山崎2641)

³学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 野田市山崎2641)

⁴正会員 工博 明星大学助教授 理工学部土木工学科 (〒191-8506 日野市程久保2-1-1)

本研究は、打重ね継目部の耐久性を向上させる方法を提案するために、概念的に示されていた「下層のコンクリート上面を再振動によって流動化してから、速やかに上層のコンクリートを打ち足すと良い結果が得られる。」という昭和49年度版示方書で解説されていた方法も含めて実験を行い、打込み・締固め方法が、打重ね継目部における強度および中性化・鉄筋の発錆に及ぼす影響を明らかにしたものである。また、近年普及された高流動コンクリートや、今後構造用コンクリートとしても利用されるようになる可能性が高い再生骨材コンクリートに関する検討結果についても報告する。

Key Words : concrete, durability, cold joint, placement, revibration

1. はじめに

コンクリートは、継目なく容易に任意の形にできるという特長から、建設材料として広く用いられてきた。コンクリートポンプが多用される以前、すなわち現場練りで少量ずつ打ち込み締め固めていた頃には、現場作業の段取り変えやコンクリートの練混ぜ・運搬の遅延等によって、下層コンクリートにこわばりが生じたりしてコールドジョイントが発生しやすい環境にあったとも考えられるが、現実的にはコールドジョイントが耐久性の低下や構造物の寿命を縮める大きな要因になった例は少なかった。当時は、下層コンクリートがこわばり始めていた時には、再振動によって流動性を回復したり、さらに下層コンクリートが固まり始めていた時には、下層コンクリートの上面に散水して再振動を行い流動性を回復してから、上層コンクリートを打ち込み締め固めていた可能性が大きい。このことは、当時の技術を集大成し幅広く教科書として採用していた「コンクリート及び鉄筋コンクリート施工方法」にも「振動および再振動を十分にすれば、弱い打ちだし継目ができるおそれがない。・・・下層コンクリートが、再振動に適しないほど固まったときでもコンクリートを打ってから、大約 12 時間以内であれば、継目

の部分に十分に振動をかければ、新旧コンクリートをよく付着させることができる。ただし、このとき、旧コンクリートの面が乾かないよう、かるく水をかける必要がある。そして、層の厚さを 30cm 位にし、振動機をほぼ水平に用いて、打ちだし継目に近く振動を与える。」¹⁾という記載からも推測される。これには、技術的な面からの研究成果が反映されていた以外にも、粘土細工である部分と別の部分をくっつけるためには、接着する部分に水をつけてから指を押し付けもむようにして軟らかくするといった感覚が作業員にもあったことが影響していたと考えられる。しかし、余り水をつけ過ぎるとひび割れや強度低下が起こるので、ほんの少しかつ一体化のために再振動または突固めやタンピングによって軟らかくすることに主眼を置いていることが子供時代からの生活上の体験から作業員にも十分に理解されていたものと考えられる。こうした状況を踏まえると、水を撒くこと等現在では考えられないようなことかもしれないが、当時は硬練りのコンクリートが多用されていたため、コールドジョイントを発生させるよりも、一体性の確保の方に重点を置く方が耐久性上有効となるといった技術者の判断は適切であったとも考えられる。しかし、現在では、こうした技能工の配慮や技術者の直感による適切な

表-1 コンクリートの配合

配合 No.	コンクリートの種類	スラブ (cm)	スラブフロー (cm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)						
							W	C	S	G1*	G2*	Ad1*	Ad2*
配合1	普通	8±1.5	—	55	44	4.5±0.5	183	333	760	1004	—	—	—
配合2	普通軟練り	15±1.5	—		44		198	360	733	969	—	—	—
配合3	増粘剤系高流動	—	60±2.5		52		183	333	898	861	—	11.7	0.549
配合4	再生骨材	8±1.5	—		44		183	333	760	—	911	—	—

G1*: 砕石 G2*: 再生粗骨材 Ad1*: 高性能 AE 減水剤 Ad2*: 増粘剤

判断を期待できる状況にはない。

コンクリートポンプが利用されるようになり、連続して比較的軟練りのコンクリートを打ち込むことができるようになると、締固めの簡略化が図られるようになった。そして、生コンの配車や渋滞または現場内でのトラブル等で打込みが滞ったりした場合の準備も省略されがちになり、打重ね継目への対処が不十分となる傾向になったと思われる。その結果、昭和 49 年度版土木学会コンクリート標準示方書では、打重ね時間間隔が長くなった場合には、「再振動または再締固めで流動化させてから上層コンクリートを打ち足すとよい結果が得られる。」²⁾ ということがわざわざ解説されるようになった可能性が大きい³⁾。しかし、再振動の打重ね継目の一体性及び及ぼす効果が明確に示されていないことに加えて、固まり始めと固まってしまった状態を見分けることが実質上困難であるとし、昭和 61 年度版の示方書より、打足しの条項は削除されている⁴⁾。その後、再振動限界としての凝結時間が、打重ねの限界として理解されるようになり、平成 12 年 7 月に土木学会より発行された「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」では、打重ね時間を凝結時間でもって整理している⁵⁾。

本研究では、再振動を行ってから上層のコンクリートを打ち足す手法について、打重ね継目部の曲げ強度の低下を抑制できる可能性^{6),7)} および打重ね継目部の中性化速度の増大を抑制できる可能性⁸⁾に着目した。そして、一般的なコンクリートに加えて、近年普及された高流動コンクリートや今後構造用コンクリートとしての利用が期待されている再生骨材コンクリートについても実験を行い、打込み・締固め方法が打重ね継目部の性状に及ぼす影響を総合的に明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

使用材料は、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³）、鬼怒川産川砂（表乾密度 2.59g/cm³、吸水率 2.50%、粗粒率 2.56、実積率 62.1%）、山梨産砕石（表乾密度 2.69g/cm³、吸水率 0.82%、粗粒率 6.34、実積率 60.4%）および再生粗骨材（表乾密度 2.35g/cm³、吸水率 6.42%、粗粒率 6.66、実積率 59.6%）である。なお、再生粗骨材は、水セメント比が 70% の原コンクリートを材齢 28 日においてジョークラッシュで破碎し、ふるい分けを行って製造した⁹⁾。

コンクリートの配合は、表-1 に示した 4 種類であり、空気量の調整には AE 剤を用いた。なお、配合 3 の高流動コンクリートの製造には、セルローズ系増粘剤およびポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を用いた。また、配合 4 の再生骨材コンクリートの製造には、練混ぜ直前まで水中に 30 分間浸漬しておいた再生粗骨材を使用した。

(2) 練混ぜおよび試験時の室内温度

練混ぜ、スラブ試験、スラブフロー試験およびプロクター貫入試験のいずれも 20℃ の室内で行った。なお、コンクリートの練上がり温度は、全て 21 ± 1℃ であった。

(3) スラブおよびスラブフロー試験

スラブおよびスラブフロー試験の方法は、それぞれ JIS A 1101 および JIS A 1150 の突固めや振動を与えない方法に準じた。また、所定の時間静置した試料から採取したコンクリートについて測定した「スラブ-JIS」および「スラブフロー-JIS」とは別に、練上がり直後にスラブコーンにコンクリートを詰め所定の時間静置した後にスラブコーン

表-2 コンクリートの打込み・締め固め方法

Type A	上層コンクリートを打ち込み後、外部振動機による締め固めのみを行う方法 (配合3の高流動コンクリートの場合のみ締め固めは一切行わない)
Type B	上層コンクリート打ち込み後、内部振動機を下層コンクリートにまで挿入させて締め固める方法
Type C	下層コンクリート上面を再振動によって流動化させた後速やかに上層コンクリートを打ち重ね、内部振動機を下層コンクリートにまで挿入させ締め固める方法

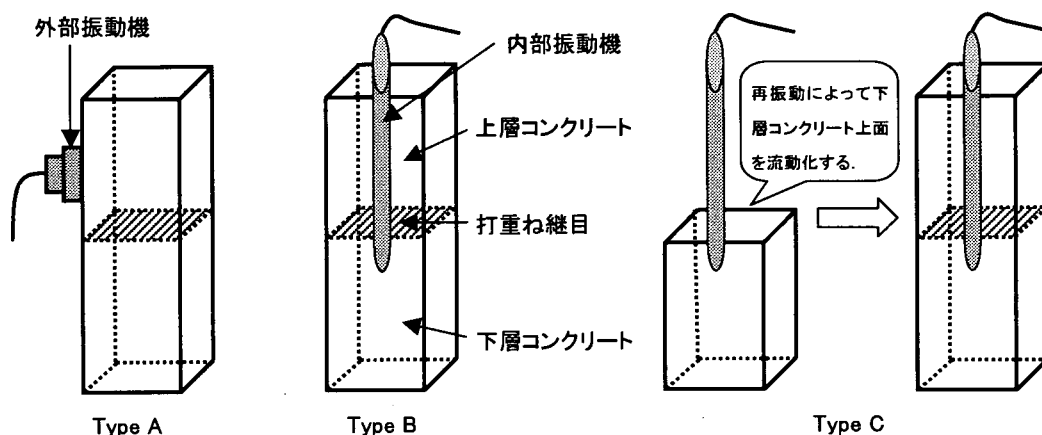


図-1 コンクリートの打込み・締め固め方法

を引き上げ測定した値である「スランプ-静」および「スランプフロー-静」を求めた。これは、「スランプ-JIS」および「スランプフロー-JIS」は、先に打ち込まれた下層コンクリートが再振動によって軟らかくなった後のコンクリートの特性を表す指標となり、「スランプ-静」および「スランプフロー-静」は、先に打ち込まれた下層コンクリートが静置されている間のコンシステンシーの変化に関する指標となるのではないかと考えたことによる。

(4) プロクター貫入抵抗およびブリーディング試験

プロクター貫入抵抗試験およびブリーディング試験は、それぞれJIS A 6204付属書1およびJIS A 1123に準じて行った。

(5) 打重ね時の締め固め方法

コンクリートの打込み・締め固め方法は、表-2および図-1に示したType A、Type BおよびType Cの3種類である。

Type Aは、下層コンクリートを内部振動機により締め固めた後、上層コンクリートを打ち重ねる際に各側面を外部振動機により順次それぞれ5秒間ずつ合計20秒間締め固める方法である。これは、近年

の鉄筋量の増大によりかぶり部を直接締め固めることが困難になりつつあることや、場合によってはかぶりを直接突き固めるのを省略することがあるという現状を想定し、内部コンクリート締め固め時の振動の伝播による締め固めを強調して外部振動機のみによる締め固めとしたものである。

Type Bでは、上層コンクリートを打ち重ねる際に内部振動機を下層コンクリートまで挿入した。なお、実験では、棒径22mm・振動数200~250Hzの内部振動機の先端が下層のコンクリート中に約10cm入るまで挿入し、1箇所当たり約2~3秒間締め固めた。内部振動機の挿入位置は、供試体断面を4分割した区画のほぼ中心の4箇所とした。これは、現行の示方書で解説されている方法を想定した締め固め方法である。

Type Cは、再振動によって下層のコンクリートの上面を流動化させた後速やかに上層のコンクリートを打ち重ね、内部振動機を下層コンクリートまで挿入して締め固める方法である。これは、過去に経験的に行われていた方法を想定し、それを解説した昭和49年度制定の示方書解説の方法に準じている。再振動による流動化のための内部振動機の挿入位置は、供試体断面を4分割した区画のほぼ中心の4箇所

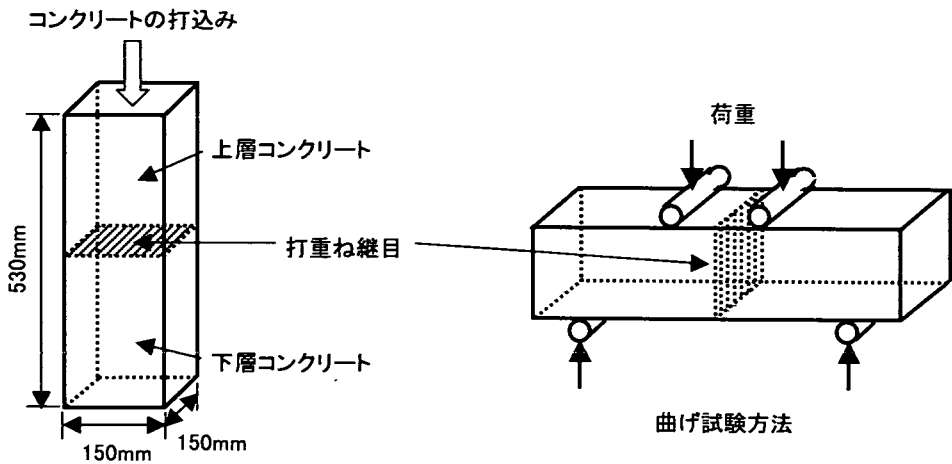


図-2 曲げ試験用供試体の寸法および曲げ試験方法

所とした。また、下層コンクリートの再振動は、コンクリート表面が流動化したことが目視によって確認できるまで行った。この確認までに要した再振動時間の合計は、始発直前のものを除くと、10～20秒間程度であった。始発直前では、容易に振動機を挿入できないため、1箇所目の挿入には内部振動機の電源を入れたり切ったりしながら10秒間程度要したが、全体の再振動時間の合計は30秒間程度であった。そして、上層コンクリートの締めめは、TypeBと同様とした。

Type A～C のいずれの打重ね方法の場合にも、下層のコンクリートは内部振動機によって締め固めた。また、ブリーディング水の処理や打継ぎとしての処理は一切行わなかった。なお、ブリーディング水の処理を全く行わなかったのは、ブリーディング水を除去することによって上面が乾燥したりこぼれたりしやすくなること、および実験に用いたコンクリートのブリーディング試験結果によると、ブリーディング水の深さは最大でも2mm以下となり、ブリーディング水の排除を行ったとしても現実にはこの程度のブリーディング水の溜まっている場所も存在する可能性があると考え、再振動時にブリーディング水がコンクリート中に混合されることによる影響も反映させるためである。

(6) 曲げ強度試験

実験に用いた供試体は、図-2に示した150×150×530mmの縦打ちの角柱供試体であり、その中央部（高さ265mmの部分）に打重ね継目を設けた。なお、比較用として一体打ちの供試体も作製した。コンクリートの打込みは20℃の環境下で行い、上層コンク

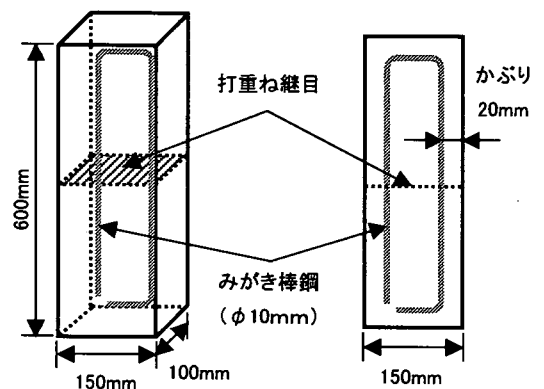


図-3 促進試験用供試体の寸法

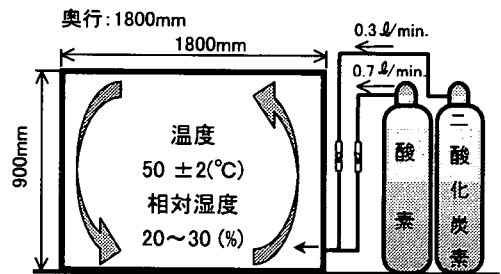


図-4 中性化促進試験装置

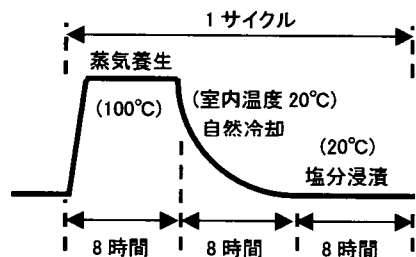
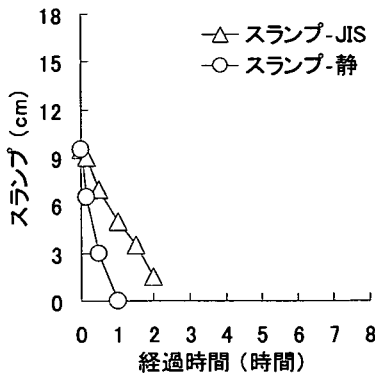
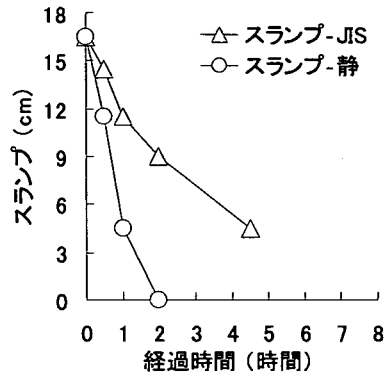


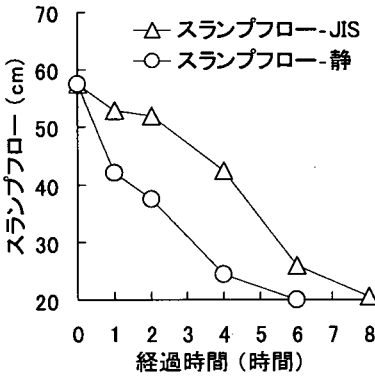
図-5 塩分浸漬乾湿繰返し促進サイクル



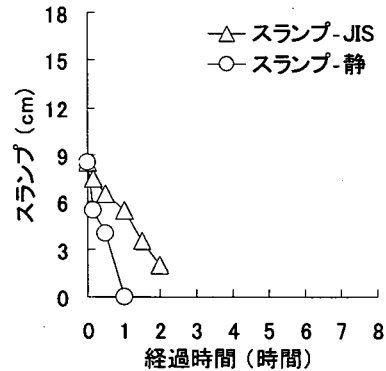
(i) 配合 1 [普通コンクリート]



(ii) 配合 2 [普通軟練りコンクリート]



(iii) 配合 3 [増粘剤系高流動コンクリート]



(iv) 配合 4 [再生骨材コンクリート]

図-6 スランプおよびスランプフローの経時変化

リート打ち込み後、材齢24時間で脱型し、曲げ強度試験を行う直前まで20℃の封かん養生を行った。なお、曲げ強度試験は、材齢7日でJIS A 1106に準じて行った。

(7) 中性化促進試験

実験に用いた供試体は、図-3 に示した 150×100×600mm の角柱であり、その中央部（高さ 300mm の部分）に打重ね継目を設けた。また、かぶりは20mm とし、鉄筋にはφ10mm のみがき棒鋼を用いた。コンクリートの打込みは 20℃の環境下で行い、促進試験を開始する材齢 28 日まで 20℃で気中養生を行った。なお、この試験は配合 1 についてのみ行った。

実験では、コンクリートの中性化と鉄筋の発錆促進を目的とし、図-4 に示した容器内に供試体をセットした後、毎分 0.7 リットルの酸素と 0.3 リットルの二酸化炭素を吹き込んだ。促進試験の開始後 5, 15, 25 および 35 日目に、中性化深さおよび鉄筋の発錆面積の測定を行った。なお、二酸化炭素および

酸素を流量管理としたため、空気を循環させるファンの位置と空気抜き穴の位置を変化させ、線香の煙を用いて空気がまんべんなく全体に流れていることを確認してから促進試験を開始した。その結果、ファンの位置は酸素および二酸化炭素の流入口付近とその反対面の 2ヶ所とし、空気の流出は容器の各辺に設けた隙間より行うこととした。また、酸素および二酸化炭素の濃度管理を行わなかったため、同一条件下での試験結果を用いて、相対比較することとした。継目部分における中性化深さは、150×100mm の断面で割裂して、その割裂断面にフェノールフタレイン溶液を吹きかけ、継目における中性化深さを 1本の供試体から 4点測定し、供試体 3本すなわち 12 点の平均値とした。中性化の測定方法は、割裂後の供試体断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、3 日後にコンクリート表面から赤色域までの距離を測定する方法とした。これは、含水率が高い部分は、中性化した部分でも発色する可能性があり、通常のコンクリートでは、3 日程度で安定した値を示すことによる¹⁰⁾。また、継目部分にお

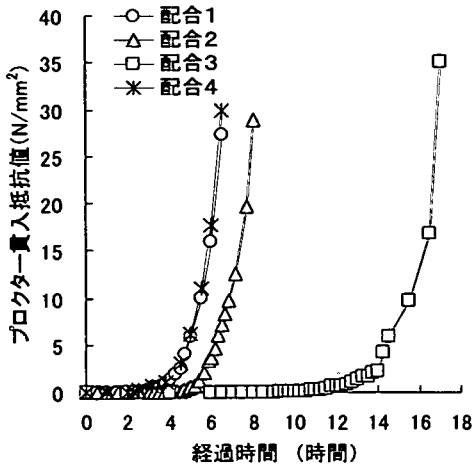


図-7 プロクター貫入抵抗値の経時変化

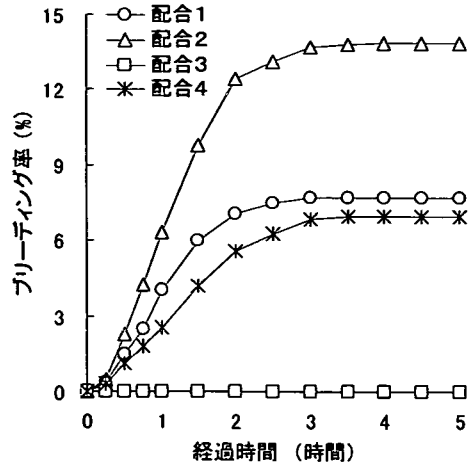


図-8 ブリーディング率の経時変化

る鉄筋の発錆面積は、継目部分から上下 50mm の間で測定した。鉄筋の発錆面積の測定方法は、JIS A 6205 付属書 2 に準じて、鉄筋の表面に透明なシートを当てて腐食した部分を写し取り、その面積を測る方法とした。

(8) 塩分浸漬乾湿繰返し促進試験

飛来塩分を想定した外部からの塩分の浸透を対象とした塩分浸漬乾湿繰返し促進試験は、図-5 に示したサイクルで行った。浸漬する溶液には、JIS A 6205 付属書 1 に準じて質量濃度 3% になるように調整した人工海水を用いた。なお、コンクリートの打込みは 20°C の環境下で行い、促進試験を開始する材齢 28 日まで 20°C で気中養生を行った。また、この試験は配合 1 についてのみ行った。

供試体の形状寸法および鉄筋の発錆面積の測定方法は、(7) の中性化促進試験の場合と同じである。

3. 実験結果および考察

(1) スランプおよびスランプフロー試験結果

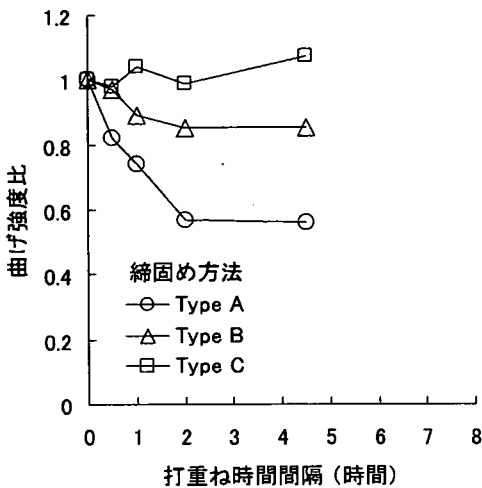
スランプおよびスランプフローの経時変化は、図-6 に示す通りである。所定の時間静置した試料を再び練り返し JIS A 1101 および JIS A 1150 に準じて測定した「スランプ-JIS」および「スランプフロー-JIS」の値に比べて、練上がり直後のコンクリートをスランプコーンに詰め所定の時間静置させた後スランプコーンを引き上げ測定した「スランプ-静」および「スランプフロー-静」の値の方が小さくなった。再生粗骨材を用いた配合 4 は、碎石を用

いた配合 1 に比べて、練上がり直後のスランプは若干小さくなったものの、「スランプ-JIS」および「スランプ-静」の経時変化にあまり差は見られなかった。これは、水中に 30 分間浸漬しておいた再生粗骨材を使用したため、再生粗骨材が吸水することによるスランプロスがほとんどなかったためと考えられる。

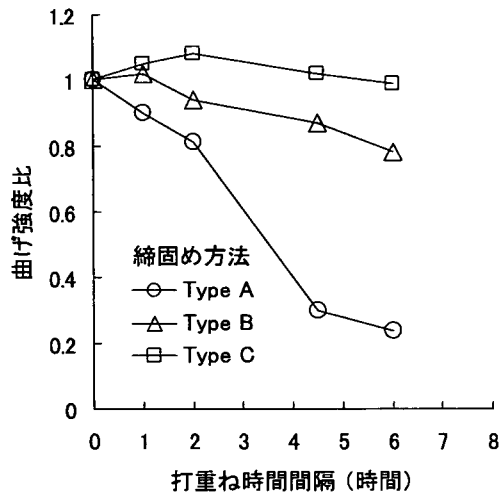
(2) プロクター貫入抵抗およびブリーディング試験

プロクター貫入抵抗値の経時変化は、図-7 に示す通りである。プロクター貫入抵抗値は、練上がり直後のスランプが 8cm 程度の配合 1 および配合 4 では経過時間が 1 時間 30 分程度まで、スランプが 15cm 程度の配合 2 では 3 時間程度まで、配合 3 の高流動コンクリートでは 10 時間程度までほぼ 0N/mm² となった。これは、今回の実験で用いたプロクター貫入抵抗試験装置では、始発および終結時間を求めるための装置であることから、貫入抵抗が 0.005N/mm² 未満の範囲は、JIS A 1147 に従って小数点以下 1 桁に丸めると、測定値が 0.0N/mm² と表されたことによる。また、抵抗値が 3.5N/mm² になった時間すなわちコンクリートの始発時間は、配合 1 および配合 4 では約 4.5 時間、配合 2 では約 6 時間、配合 3 では約 14 時間となった。なお、碎石を用いた配合 1 および再生粗骨材を用いた配合 4 のプロクター貫入抵抗値の経過時間にはほとんど差は見られなかった。

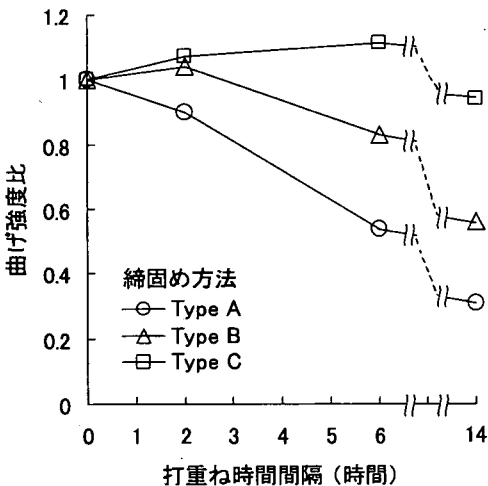
一方、ブリーディング率の経時変化は、図-8 に示す通りである。単位水量が同一であるにも関わらず、再生粗骨材を用いた配合 4の方が碎石を用いた配合 1 に比べて、ブリーディング率が若干小さくな



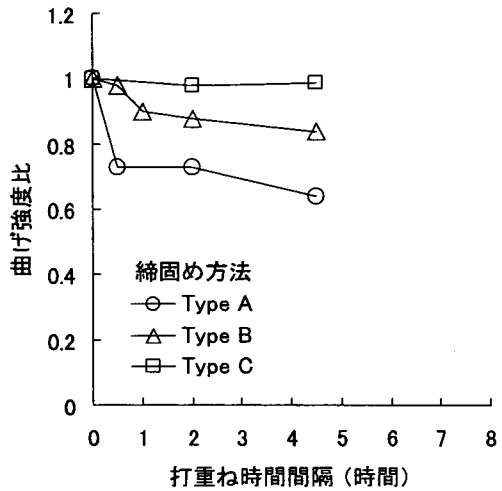
(i) 配合 1 [普通コンクリート]



(ii) 配合 2 [普通軟練りコンクリート]



(iii) 配合 3 [増粘剤系高流動コンクリート]



(iv) 配合 4 [再生骨材コンクリート]

図-9 一体打ちに対する曲げ強度比に及ぼす打込み・締固め方法および打重ね時間間隔の影響

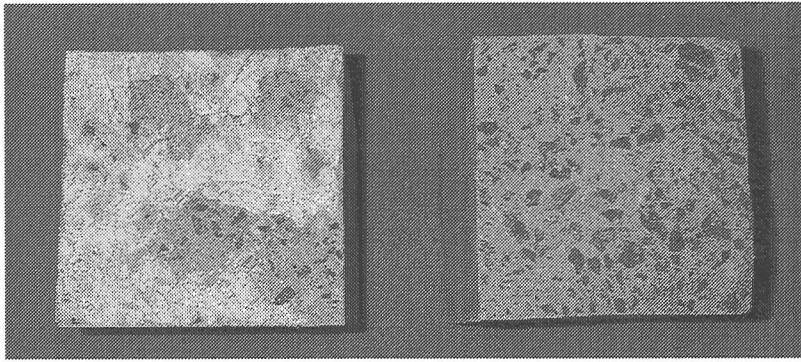
る傾向にあった。これは、コンクリートの練混ぜ中に再生粗骨材の脆弱な部分が破碎され、コンクリート中の微粒分が増加したためと考えられる¹¹⁾。また、配合 3 の高流動コンクリートでは、ブリーディング水の発生は認められなかった。

(3) 曲げ強度試験結果

一体打ちに対する曲げ強度比に及ぼす打込み・締固め方法および打重ね時間間隔の影響は、図-9 に示す通りである。なお、一体打ちすなわち打重ねの時間間隔が 0 の供試体の曲げ強度は、配合 1 では 4.14N/mm^2 、配合 2 では 4.06N/mm^2 、配合 3 では

3.23N/mm^2 、および配合 4 では 3.10N/mm^2 であった。また、曲げ強度比は、供試体 3 本の平均値より求めた。

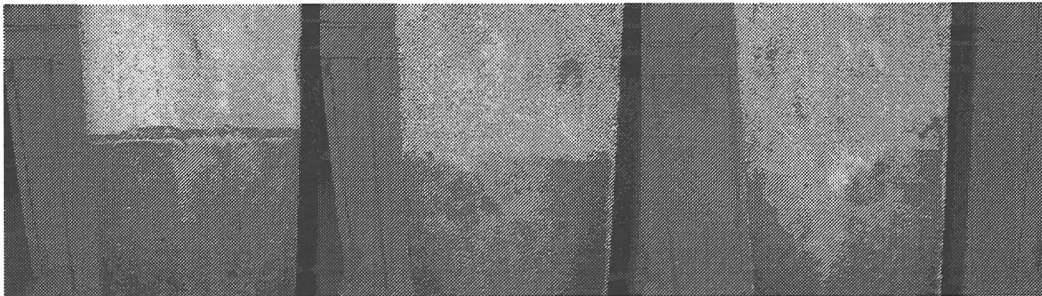
上層のコンクリートを外部振動機のみで締め固めた Type A では、打重ね時間間隔が長くなるに伴い、一体打ちに対する曲げ強度比は大きく低下した。配合 3 の高流動コンクリートを除くと、ブリーディング水が浸み出し、それが活発となり始める打重ね時間間隔が 30~60 分における曲げ強度比は、ブリーディング率の小さい配合ほど低下しやすくなる傾向にあった。これは、ブリーディング水が巻き込まれることによる影響よりも、下層コンクリートのこわ



Type B

Type C

図-10 曲げ試験後の供試体の破断面（配合3，打重ね時間間隔：14時間）



Type A

Type B

Type C

図-11 供試体の側面（配合1，打重ね時間間隔：4時間30分，上層コンクリートには白色セメントを使用）

ばりの影響の方が大きかったためと考えられるが、再生骨材コンクリートの場合は、砕石・川砂コンクリートと異なった性質を示した可能性もある。しかし、ブリーディングの浸み出しが終了し、表面の水分が急激にひいた後すなわち今回の実験では打重ね時間間隔が4時間30分以降の曲げ強度比は、逆にブリーディング率の大きい配合ほど、低下し易くなる傾向にあった。これは、ブリーディングの終了によって、打重ね継目に残存するレイタンスの影響が大きく関係したことによると考えられる。

上層のコンクリートを打ち重ねる際に内部振動機を下層のコンクリートまで挿入させた TypeB すなわち現行の示方書に準じて入念に締め固める方法によると、配合1および配合4では打重ね時間間隔が30分間程度、また配合3では1時間程度まで、曲げ強度比はほとんど低下していない。しかし、それよりも打重ね時間間隔が長くなると徐々に曲げ強度比は低下する傾向にあった。そして、曲げ強度比が大

きく低下し始めていたのは、打重ね時間間隔が「スランプ-JIS」または「スランプフロー-JIS」の半減した時付近であった。締固め方法が TypeA の場合における曲げ強度比は、「スランプ-静」または「スランプフロー-静」が半減した時点で低下していたのに比べて、TypeB では曲げ強度比が低下し始める時間は長くなっていた。このことは、打重ね時に TypeA では、外部振動機による振動のみしか受けなかったため、静置されたままでの流動性の低下の影響を受けるが、TypeB では、下層コンクリートまでの内部振動機の挿入によって静置後に乱されるため、ある程度の流動性の回復の影響も受けている可能性を表していると考えられる。いずれの締固め方法（TypeA および TypeB）の場合にも、スランプまたはスランプフローを用いて考察したが、曲げ強度比が大きく低下し始める限界は、コンクリートのコンシステンシーの変化以外の影響も大きく受ける可能性があるため、その限界を判定できる方法の提案にはさらに多くの

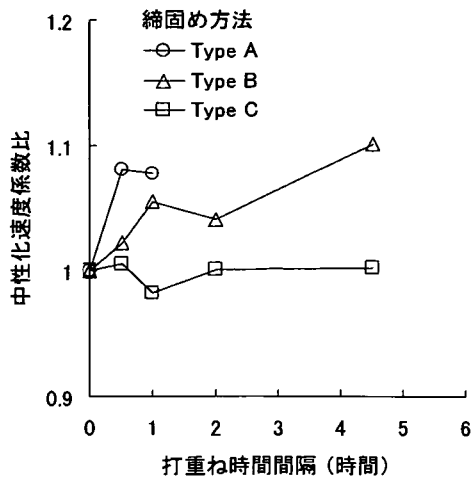


図-12 一体打ちに対する継目部における中性化速度係数比に及ぼす打込み・締め固め方法および打重ね時間間隔の影響 (配合1)

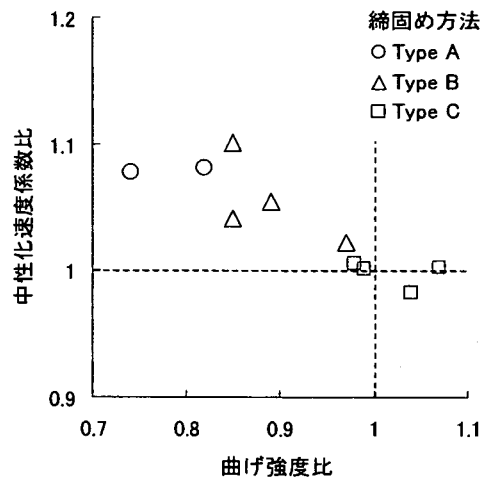


図-13 一体打ちに対する継目部における中性化速度係数比と曲げ強度比の関係 (配合1)

検討が必要であると思われる。

一方、下層のコンクリートを再振動によって流動化させた後、上層のコンクリートを速やかに打ち重ね、内部振動機を下層のコンクリートまで挿入させて締め固めた Type C では、いずれの配合においても、一体打ちの場合と同等程度の曲げ強度を得ることができた。また、ブリーディング率の大小やブリーディングの析出時期の影響はほとんどないようであった。これは、再振動限界すなわちプロクター貫入抵抗値が 3.5N/mm^2 に達するまでは、上層のコンクリートを打ち重ねる直前にあらかじめ下層のコンクリートに再振動を与えチキソトローピーの性質を利用して流動化させることが、打重ね継目部の一体性を確保する上で有効な手段であることを表していると考えられる。なお、下層のコンクリート打込み締め固め後室内放置であったため、ブリーディング水の発生がほとんどない配合3の高流動コンクリートでは、表面の乾燥によって打重ね時間間隔が4時間程度から徐々にこわばりを生じ始めたが、再振動によってこのこわばりは容易に消えた。その結果、打重ね時間間隔が14時間と極端に長くなっても、再振動によって流動化し、一体化したと考えられる。このことは、図-10に示したよう、目視によって確認された。すなわち、図-10中のTypeBで白くなっている部分は下層コンクリートの表面の乾燥によって一体化が阻害された部分で、色の濃い部分は上層コンクリートを打ち重ねる際にパイプレータを挿入した箇所ですべて上下層が混合し一体化しているように観察された。一方、下層コンクリートの再振動後打ち重ねた

TypeCでは、境界面が乱され、上層および下層コンクリートが断面全体で混合しているように観察された。そのため、高流動コンクリートの場合には、直射日光や風による乾燥を防ぐことが肝要かと思われる。しかし、こわばり始めたとしても、単位モルタル量が大きいことから再振動の効果は大きく、始発時間程度であっても再振動によって充分な一体性を確保できる可能性がある。また、再生骨材コンクリートの配合4であっても、再振動締め固めを行った場合には、川砂・碎石コンクリートの配合1と同様に一体性が確保されていた。

図-11は、上層コンクリートに白色セメントを用いたコンクリートを打ち重ねた供試体の側面の様子を示したものである。TypeAの外部振動機のみによる締め固めでは、上層と下層との間でコンクリートは全く混合せず境目も乱れていないようであった。内部振動機を下層まで挿入したTypeBでは、振動機の挿入部付近のみである程度混合しているように見られた。しかし、下層コンクリートを再振動によって流動化させてから打ち重ねたTypeCでは、徐々に色が変化しており、上下層に明確な境目は見られなかった。

(4) 中性化促進試験結果

図-12は、配合1について、打込み・締め固め方法および打重ね時間間隔が中性化速度係数に及ぼす影響を示したものである。中性化速度係数比は、打重ね継目における中性化速度係数の一体打ちにおける中性化速度係数に対する比で表した。中性化速度係数

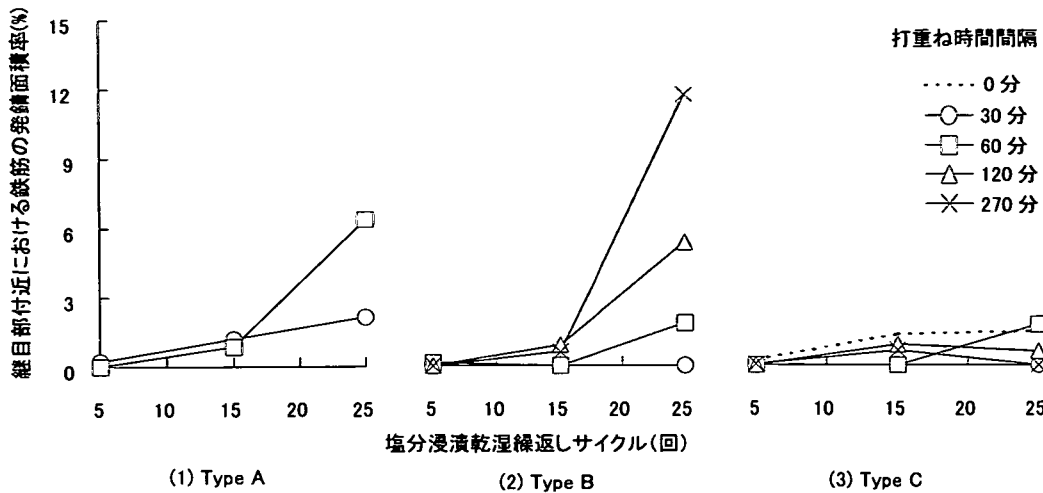


図 - 14 継目部付近における鉄筋の発錆面積率に及ぼす打込み締固め方法および打重ね時間間隔の影響 (配合 1)

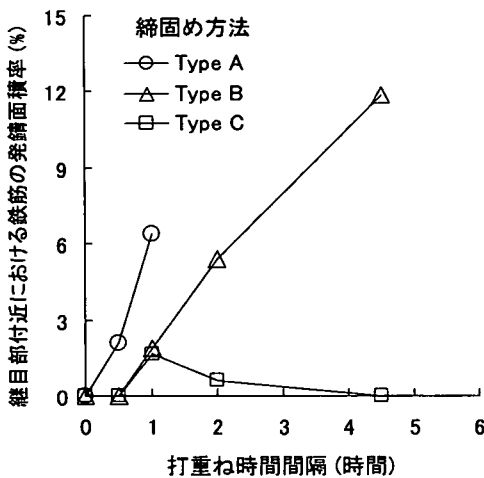


図-15 継目部付近における鉄筋の発錆面積率に及ぼす打込み締固め方法および打重ね時間間隔の影響 (配合 1, 塩分浸漬乾湿繰返しサイクル: 25)

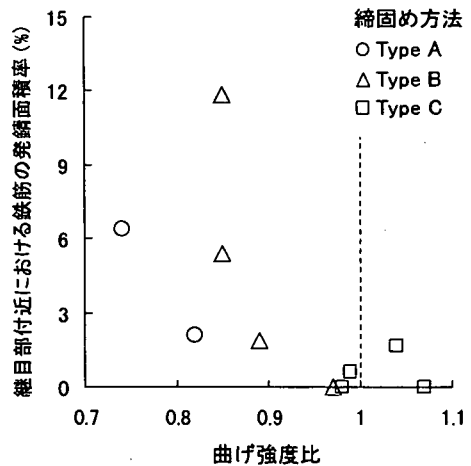


図-16 継目部付近における鉄筋の発錆面積率と曲げ強度比の関係 (配合 1, 塩分浸漬乾湿繰返しサイクル: 25)

は、中性化深さの測定値より平成11年度版土木学会コンクリート標準示方書[施工編]—耐久性照査型—に示されている式²⁾より逆算して求めた。なお、各値は促進日数が5, 15, 25および35日における試験結果の平均値で表した。Type Aの場合、打重ね時間間隔が30分を超えると、継目部分における中性化速度係数は、一体打ちの場合のおおよそ1.1倍になった。また、現行の示方書に準じたType Bの場合は、打重ね時間間隔が1時間を超えると、中性化速度係

数は大きくなる傾向にあった。しかし、再振動を併用したType Cの場合では、打重ね時間間隔が4時間30分と長くなっても、中性化速度係数は一体打ちの場合と同等程度であった。

一体打ちに対する中性化速度係比と曲げ強度比の関係を表すと、図-13のようになる。中性化速度係比と曲げ強度比には密接な関係があると考えられ、曲げ強度比の低下に伴い中性化が進行しやすくなる傾向にあった。なお、今回の実験では、促進日数が

35日において中性化深さが15mm程度となった場合でも、継目部分の鉄筋に発錆は認められなかった。

(5) 塩分浸漬乾湿繰返し促進試験結果

図-14は、配合1について、打込み・締固め方法および打重ね時間間隔が継目部分付近における鉄筋の発錆面積に及ぼす影響を示したものである。なお、鉄筋の発錆面積率は、発錆面積を測定した範囲すなわち継目部分から上下50mmの間の鉄筋の面積に対する発錆面積の百分率で表した。上層コンクリートを外部振動機のみで締め固めたType Aでは、打重ね時間間隔が30分を超えると、継目部付近に発錆が認められた。これは、コンクリートの打込み時に、打重ね時間間隔が大きくなると、下層部の表面に析出した水が薄い層を形成するにもかかわらず、かぶり部には直接内部振動機を挿入しなかったことから、水道が残存してしまい、その結果継目部分に欠陥が生じたためと考えられる¹³⁾。また、現行の示方書に準じて、上層のコンクリートを打ち重ねる際に内部振動機を下層のコンクリートまで挿入させたType Bは、打重ね時間間隔が30分までは発錆が認められなかった。しかし、打重ね時間間隔が1時間を超えると継目部分付近の発錆量は増加する傾向にあった。しかし、Type Cの場合では、始発時間までのいずれの打重ね時間間隔においても、鉄筋の発錆面積率は、約1.5%（鉄筋の全表面積に対する全発錆面積の百分率）以下と参考のために打点した一体打ちの場合のと同程度以下の値となった。

図-15は、塩分浸漬乾湿繰返し25サイクルにおける、継ぎ目部付近の発錆面積率を打重ね時間間隔との関係で表したものである。再振動締固めを併用したType Cの場合は、打重ね時間間隔が始発時間程度となっても発錆は見られなかった。しかし、打重ね時間間隔が1時間および2時間では、若干の発錆が認められた。これは、ブリーディング水処理を全く行わなかったため、ブリーディング水の析出が活発な時間帯では、下層コンクリート上面に溜まった水の層によって、多少の欠陥が形成されたことによると考えられる¹³⁾。そして、その欠陥は、中性化速度係数や曲げ強度にはさほど影響しないが、Cl⁻イオンのように浸透し易いものに対しては、ある程度影響すると考えられる。

25サイクルの塩分浸漬乾湿繰返し促進試験を行った場合の継目部付近における発錆面積率を曲げ強度比との関係で表すと、図-16になる。曲げ強度比が0.9より小さくなると継目部付近の発錆量が増加する傾向にあった。

4. まとめ

今回の結果を取りまとめると、以下のようになる。

- (1) コールドジョイントの発生には、下層コンクリートの表面の乾燥による影響に加えて、下層コンクリートのコンシステンシーの変化すなわちスランプの低下が大きく関与していると考えられる。
- (2) 何らかの理由でコンクリートの打重ね時間間隔が長くなった場合、昭和49年度制定の示方書の126条打ちたしの解説に従い、下層のコンクリート上面を再振動によって流動化させた後、速やかに上層のコンクリートを打ち重ねることにより、打重ね時間間隔が再振動限界に達するまでは、一体打ちの場合と同程度程度の曲げ強度および耐久性を得ることができる。
- (3) 高流動コンクリートの場合は、ブリーディングがほとんど発生しないため、打重ねに当たっては下層コンクリート表面の乾燥を防ぐように配慮することが望ましい。しかし、単位モルタル量が大きいため、再振動によって容易に流動化させることができ、始発時間程度であっても再振動によって十分な一体性を確保し易い。
- (4) 川砂・再生粗骨材コンクリートの場合、川砂・碎石コンクリートよりも若干コールドジョイントが発生しやすくなる可能性がある。これは、今回実験を行った再生骨材コンクリートのブリーディング率が川砂・碎石コンクリートのそれよりも小さく、下層コンクリート上面が乾燥しやすくなったことによると考えられる。そして、再生骨材コンクリートの場合においても、再振動は一体性を確保する上で有効な手段になるものと考えられる。

謝辞：本研究を行うにあたり、多くの実験を実施して頂いた元東京理科大学修論生の中島洋平氏に感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 吉田徳次郎：コンクリート及び鉄筋コンクリート施工方法第5版、丸善株式会社、p.343、1971。
- 2) 土木学会：昭和49年制定コンクリート標準示方書、第3章、1974。
- 3) 澤本武博、辻正哲、来海豊：コンクリートの打込み方法がコールドジョイントの発生およびコンクリートの中性化・鉄筋の発錆に及ぼす影響、材料、Vol.50、No.8、pp.865-872、2001。
- 4) 土木学会：昭和61年制定コンクリート標準示方書改定資料、コンクリートライブラリー61、1986。
- 5) 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.
- 6) 山田保, 来海豊, 辻正哲, 澤本武博: コンクリートの打込み・締固め方法が打足し継目強度に及ぼす影響, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp.966-967, 2001.
- 7) Tsuji, M., Sawamoto, T., Nakajima, Y., Yamada, T. and Kimach, Y. : Effect of Placement and Compaction on Properties of Placing Joint, Proceeding of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, pp.565-574, 2001.
- 8) 九十九圭, 辻正哲, 来海豊, 中島洋平, 澤本武博: 打込み・締固め方法が中性化および鉄筋の発錆に及ぼす影響, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部, pp.578-579, 2001.
- 9) 辻正哲, 澤本武博: 低品質再生骨材の有効利用方法について, コンクリート工学, Vol.37, No.11, pp.27-32, 1999.
- 10) 岸谷孝一, 西澤紀昭, 和泉意登志, 喜多達夫, 前田照信: コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化, 技報堂出版, pp.5-7, 1986.
- 11) 阿部道彦: 再生骨材を用いたコンクリート, コンクリート工学, Vol.33, No.12, pp.110-116, 1995.
- 12) 土木学会: 平成 11 年版コンクリート標準示方書〔施工編〕-耐久性照査型-改定資料, p. 9, 2000.
- 13) 辻正哲, 伊藤幸広: 鉄筋の防錆及び乾燥収縮ひび割れに及ぼすアクリル乳剤の効果に関する研究, セメント技術年報, No.40, pp. 79-82, 1986.

(2002. 1. 16 受付)

EFFECT OF PLACING AND COMPACTING METHOD ON PROPERTIES OF PLACING JOINT

Takehiro SAWAMOTO, Masanori TSUJI, Tamotsu YAMADA,
Tomoyasu FUJITA and Yutaka KIMACHI

It is important to place concrete continuously for construction being joint-less. However, in case placing is discontinued for some reasons, some defects such as cold joints may occur.

In this study, the effects of placing and compacting method on concrete properties around placing joint were investigated. The flexural strength, carbonation velocity and corroded area of steel bar around the placing joint were almost the same as those of joint-less concrete when the upper layer concrete was placed over the lower layer immediately after the lower layer being revibrated and softened to wet until the initial setting.