

[20] ショットブラスト工法を利用した新旧コンクリートの 打ち継ぎ工法に関する研究

正会員 ○ 足立 一郎 (千葉工業大学 土木工学科)
橋本 建次 (新東工業・企画室)
正会員 西村 次男 (東京大学 生産技術研究所)

1. はしがき

コンクリート構造物の補修、補強工事の際して、新旧コンクリートを打ち継ぐ場合、表面の弱質化した部分をブレーカーあるいはピックを用いてはつきり、敷モルタルを打設した後に新コンクリートの施工されることが多い。しかし、コンクリートのはつきり作業は非能率的であると共に関音、振動、粉じん等の発生を伴い、はつきり深さについても、一般的な経験に基づいて視覚的判断にたよっている。

昭和56年に札幌市の豊平橋で、橋面補修に初めて用いられたショットブラスト工法は、所定のはつきり深さを連続的に維持することができ、騒音、粉じん等の公害も極めて少ない工法である。この工法に関しては既に新旧コンクリートの打ち継ぎに最も効果的な表面処理条件についてコンクリートの水セメント比、粗骨材の種類、ショット(球形投射材)およびグリッド(角形投射材)の寸法、投射速度¹⁾、投射密度²⁾の要因を変えて検討を行い、処理された凹凸面の平均深さを用いて表面処理度の評価ができることを明らかにした^{1),2),3)}。本報告は平均深さと凹凸面の表面積あるは凹凸面の形状との関係について検討した結果並びに追加実験で得た結果を報告する。

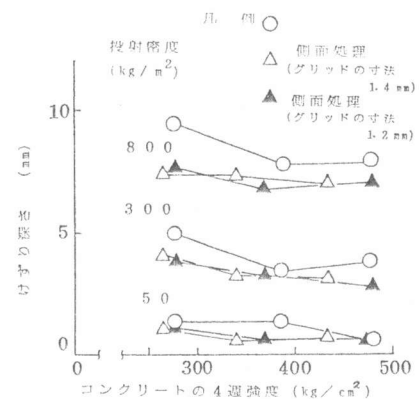
2. 実験概要

実験に用いたコンクリートの水セメント比は50%, 60%, 70%の3水準であって、スランブの目標値を各々1.0 ± 1 cmとした。粗骨材の種類は玉砂利と碎石で、前者は大井川産(比重2.66, 吸水率0.71%, 粗粒率6.55) 後者は秩父両神産(比重2.70, 吸水率0.65%, 粗粒率6.65)であった。また細骨材は富士川産の川砂(比重2.62, 吸水率2.24%, 粗粒率3.03)を用いた。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、練混ぜ時の室温を21℃ ± 2℃、養生は20℃の水中で行った。

ショットおよびグリッドの寸法を1.2 mm, 1.4 mmの2種類、投射速度を64 m/sec, 73 m/sec, 80 m/sec, また投射密度を500 Kg/m², 3000 Kg/m², 8000 Kg/m²の各3種類とした。

旧コンクリートに相当する供試体は、断面が10 × 10 cmで長さを20 cmとし、材令が6週経過した後表面乾燥状態で表面処理を施した。打ち継ぎ時には処理面を湿潤状態に保ち新コンクリートを打ち継いで供試体全体の寸法を10 × 10 × 40 cmとし、その後4週間水中養生を行ってから曲げ試験を行った。表面処理に当っては、水平打ち継ぎの場合は寸法10 × 10 × 20 cmの長手方向を鉛直にしてコンクリートの打設を行い、こてでならした頂面を処理した。鉛直打ち継ぎでは10 × 10 × 40 cmの型枠の長手方向を水平にして、一度に2個の供試体を製作し、その側面を処理した。処理された凹凸面について、差動トランス型変位計を応用した凹凸長さ測定器を製作して処理面の凹凸図をかき、得られたアナログデータはディジタイザーおよび計算機によって数値に変換し、必要なデータを求めた。

処理された旧コンクリートの表面は、モルタルあるいは粗骨材の弱質化した部分が削り取られている。この削り深さは、処理前のコンクリート表面から処理後の凸部の平均高さまでの距離で表わした。また平均深さは、処理後の凸部最高点到接する水平面と凹凸曲面によって囲まれた部分の体積を求め、この値を処理前の表面積(10 × 10 cm = 100 cm²)で割った値とした。



図一1 コンクリートの強度に対するけずり深さ

3. 実験結果と考察

3. 1 ショットブラストの処理条件がコンクリートの表面処理におよぼす影響

ショットブラスト処理を受けたコンクリート表面の削り深さは図-1に示すように、投射密度およびコンクリート強度の影響が大きく、投射密度が大きいほど深くなる。コンクリート強度が低い場合には削り深さが大きくなる傾向にあるが、 400 kg/cm^2 から 500 kg/cm^2 の強度では大きな差は生じない。また打設面の削り深さは、投射密度が大きくなるほど側面を処理した場合よりも深くなっている。打設面はブリージングの影響を受けて、強度が低下していたことが原因であると考えられる。またショットおよびグリッドの寸法、投射速度によって影響を受けることが確かめられた。

図-2, 図-3, 図-4は各々投射密度と平均深さの関係を示す。図-2, 図-3は打設面処理と側面処理の違い, 図-3, 図-4はグリッドの寸法の影響を示す。これらの図から水セメント比, 投射速度, 投射密度の増加にしたがって, 平均深さも大きくなっていることが分る。また打設面処理と側面処理の場合を比較すると, 前者の方が平均深さは大きくなる傾向があるが, 削り深さの場合ほど顕著ではない。グリッドの寸法に関しては, 投射速度が速いと, 寸法の大きいグリッドを用いる場合ほど平均深さも大きくなっている。グリッドとショットでは, 水セメント比が50%の場合は平均深さに大きな差はないが, 水セメント比70%の場合, グリッドの方が大きな平均深さとなった。

水セメント比50% (4週強度 450 kg/cm^2)のコンクリートについて, 平均深さを4mmとするための条件は図-1, 図-2に基づいて, グリッドの寸法1.4mm, 投射速度 64 m/sec として, 投射密度は 500 kg/m^2 となる。

3. 2 コンクリート表面処理度の評価

新旧コンクリートの打ち継ぎ効果を判定する基準として, 処理した凹凸面の平均深さを用いた。さらに打ち継ぎ効果に影響を与える要因として, 凹凸の表面積, 凹凸面の形状を考慮したが, これらの要因は化学反応による結合を含めたかたちで評価できるものと考えた。図-5, 図-6は平均深さと凹凸表面積の増分との関係を示した。凹凸表面積の増分とは, 凹凸の全表面積から基準となる面積 ($10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2$)を引いたものである。これらの図から両者は比例関係にあるので, 平均深さを用いて代表させることができる。

凹凸面の形状を表現するために, 凹凸面上で直角に交わる2方向において各各19断面, 合計38断面の面積を求め, 面積の分布から標準偏差を計算し, この値によって凹凸面の形状が規則的であるか否かを判断した。大きな投射エネルギーによってモルタルあるいは粗骨材の強度の低い部分が破砕されると, 凹凸の大きさや形状に変化が表れるので, 先に述べた標準偏差は大きくなる。投射密度が 50 kg/m^2 程度の小さい値では表面のモルタルが削られ, 比較的粒径の小さい骨材が露出して一様な凹凸面をなすので, 標準偏差は小さくなる。この標準偏差は平均的な凹凸断面積からの偏差を表わしているので凹凸断面積の偏差と呼ぶと図-7, 図-8は平均深さと凹凸断面積の偏差との関係を示している。これらの図から両者は比例関係にあり, 表面積の場合と同様に平均深さによって表現できると考えられる。

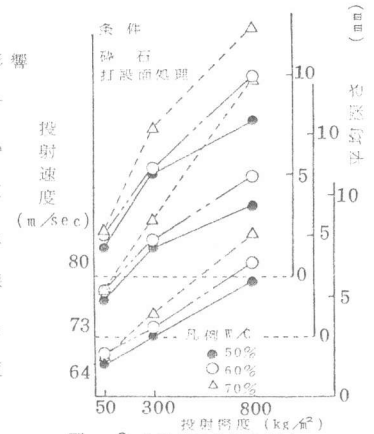


図-2 投射密度と平均深さ (グリッド, 寸法1.4mm)

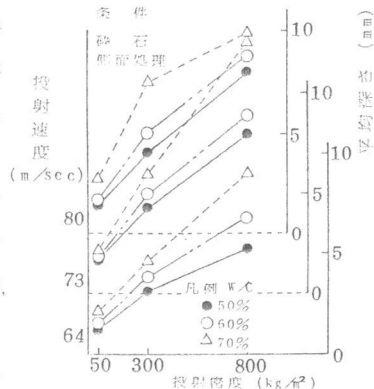


図-3 投射密度と平均深さ (グリッド, 寸法1.4mm)

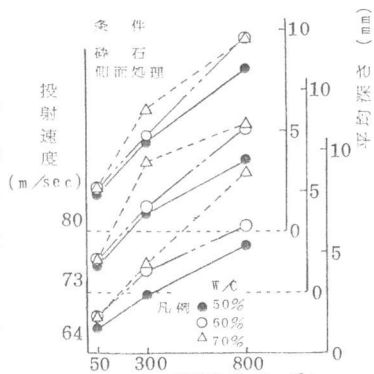


図-4 投射密度と平均深さ (グリッド, 寸法1.2mm)

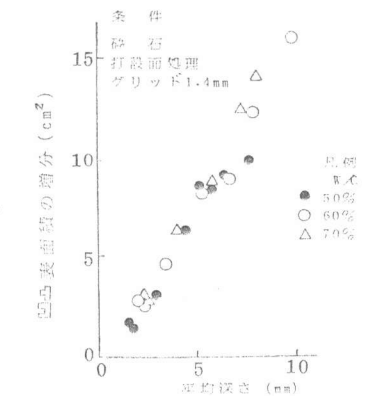


図-5 平均深さと凹凸表面積の増分

3. 3 コンクリートの打ち継ぎ強度

コンクリートの打ち継ぎ強度を評価するものとして、曲げ強度を用いた。打ち継ぎのある供試体の曲げ強度と打ち継ぎのない供試体の曲げ強度との比を曲げ強度比とした。図-9は水平打ち継ぎおよび鉛直打ち継ぎについて、曲げ強度比と平均深さの関係を示したものである。水平打ち継ぎは、曲げ強度比で80%ないし100%の大きさを示したが、鉛直打ち継ぎでは、55%ないし75%の曲げ強度比であった。鉛直打ち継ぎの場合には、凹凸面に沿って分離水あるいは気泡の上昇が生じて、凸状をなす粗骨材の下面に水膜や空隙が形成されて、コンクリートの付着性能が低下したためであると考えられる。一方水平打ち継ぎの場合は、処理された凹凸面の上に新コンクリートを打設するので、十分な締め固めがなされたためであると考えられる。

平均深さの増加に対して水平、鉛直いずれの曲げ強度比も大きな増減はないが、図の細部について検討すると、水セメント比50%の場合に、水平打ち継ぎでは投射密度 5.0 kg/m^2 における平均深さが小さく、曲げ強度比も比較的低下しているが、鉛直に打ち継ぐと他の水セメント比の場合と比べて大きい。また水平打ち継ぎの場合、平均深さ4mm程度までは曲げ強度比の値に大小が生ずるが、平均深さが大きくなるとこの傾向はなくなっている。平均深さ3mm以上(投射密度 3.0 kg/m^2 , 8.0 kg/m^2)の供試体では、50%が旧コンクリート部分で破壊を生じた。

ショットを用いて処理を施した場合は、グリッドの場合よりも曲げ強度比が低くなる傾向にあった。また水セメント比が小さいほど曲げ強度は高くなった。

以上の結果から、ショットブラスト工法によって旧コンクリートの表面処理を行う場合は、特に大きい平均深さは必要とせず、4mmないし5mm程度となる表面処理で十分効果的な新旧コンクリートの打ち継ぎが可能であると考えられる。

3. 4 RCばりの疲労試験

ショットブラスト工法を用いて単鉄筋RCばり(10×10×110cm, 鉄筋比2.8%, $\sigma_{28} = 50.0 \text{ kg/cm}^2$, $a/d = 2.5$)に表面処理を施して、その面に新コンクリートを打ち継いだ供試体(10×20×110cm)について疲労試験を行った。

表-1は疲労試験の主な結果である。試験方法は、表-1の平均深さ1.7mmのばりについて0~4tの静的くり返し载荷を行い、つづけて3万回の疲労試験を行ってクラック発生の状態を観察した結果から次のように決定した。

最初の静的くり返し载荷は、0~5.5t(鉄筋の引張応力 16.0 kg/cm^2 に相当)、疲労試験は3万回、50万回、100万回、200万回とし、各規定回数ごとに荷重を止めて、静的に0~5.5tのくり返し载荷をし、ばりのたわみ量、コンクリートのひずみ、鉄筋のひずみを測定した。载荷ステップは0.5tである。コンクリートのクラック発生および進展については、當時観察した。斜めひび割れの発生については、ひび割れの発生が予想される

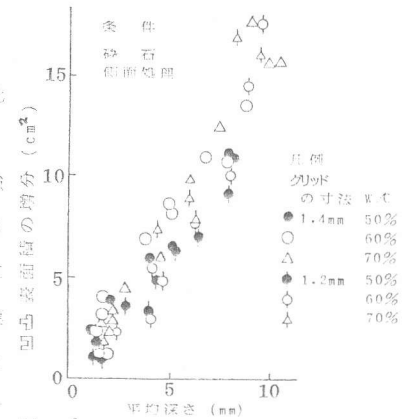


図-6 平均深さと凹凸表面積の増分

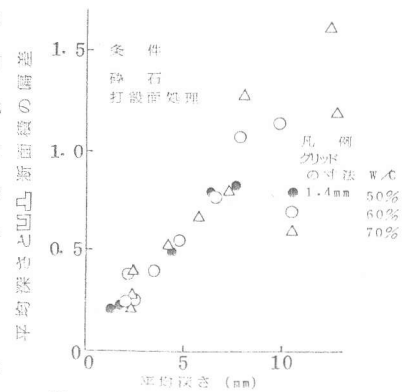


図-7 平均深さと凹凸表面積の偏差

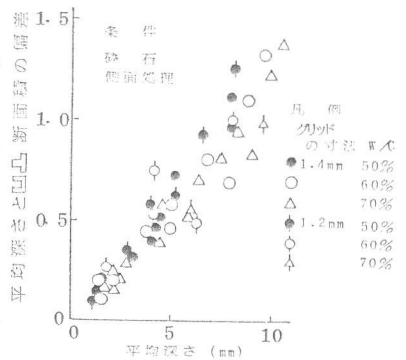


図-8 平均深さと凹凸表面積の偏差

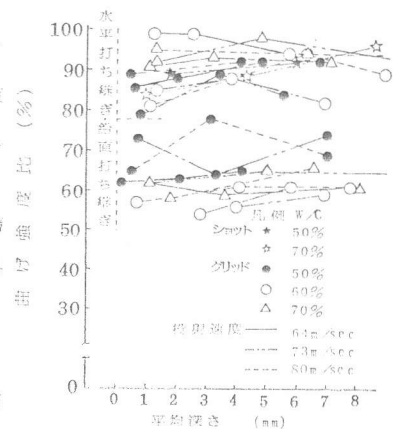


図-9 平均深さと曲げ強度比

位置に前もってひずみゲージを貼付しておいて、そのゲージの破断時の荷重を斜めひび割れ発生荷重とした。

疲労試験から次の結果を得た。打ち継ぎ面を無処理とした場合は、打ち継ぎ面の位置にクラックが入ってからはりの破壊に至るまでのくり返し数は少く、大きな音と共に打ち継ぎ面のすべり破壊が生じた。一方表面処理を施して打ち継いだけりでは、継ぎ目に長さ4～5cmのクラックが発生した場合でも、破壊するまではかなり多くのくり返し数を要した。

粗骨材の種類(玉砂利、砕石)、平均深さのちがいで対しては、はりのたわみ、鉄筋のひずみ、コンクリートのひずみおよびはりの破壊荷重について検討した結果、顕著な差は現れなかった。

4. 結論

ショットブラスト工法を用いた新旧コンクリートの打ち継ぎに際して、旧コンクリートの打ち継ぎ面処理に影響をおよぼすと考えられるコンクリートの水セメント比、粗骨材の種類あるいはショットおよびグリッドの寸法、投射速度および投射密度などの処理条件を変えて、実験的に検討した結果、次の結論を得た。

コンクリート表面のけずり深さは、コンクリート強度が低い場合と打設面処理した場合には、投射速度、投射密度の影響が大きく、コンクリート強度が高い場合と側面処理の場合は、投射密度の影響が他の要因と比較して顕著である。

平均深さと処理条件の関係は、平均深さが投射密度に比例して増加し、その勾配は投射速度および水セメント比が大きいほど大きくなるが、ショットおよびグリッドの寸法の影響は比較的小さい。

処理面の平均深さの増加に対する新旧コンクリートの打ち継ぎ強度は、概して一樣な値を示すが、水平打ち継ぎの場合は非常に高い値となり、処理面に敷きモルタルあるいは接着剤を塗布しなくとも十分な接合効果を得ることができた。

コンクリートの表面処理度を評価する量として、凹凸の平均深さの他に処理面の表面積あるいは凹凸断面積の偏差に関して検討した結果、これらは平均深さを用いて代表できることが明らかとなった。

はりの疲労試験結果からは、コンクリート処理面の平均深さのちがいでによる有意差は表われなかった。

謝 辞

本研究は東京大学生産技術研究所、小林一輔教授の御指導のもとに実施されたものである。厚く謝意を表します。なお、本研究費の1部は昭和57年度文部省科学研究費補助金(代表:小林一輔)によったものであることを付記する。

参考文献

- 1) 小林・魚木・西村, ショットブラストを利用したコンクリート打ち継ぎ工法に関する基礎的研究 (1), 生産研究, 33巻7号, 1981.
- 2) 西村・魚木・足立, ショットブラストを利用したコンクリート打ち継ぎ強度, 第37回, 土木学会年学, 1982.
- 3) 足立・魚木・西村, ショットブラストを利用したコンクリート打ち継ぎ工法に関する基礎的研究 (2), 生産研究, 34巻11号, 1982.

表-1 水平打ち継ぎを有するはりの疲労試験結果

	処理条件	平均深さ (mm)	継ぎ目のクラック くり返し数	斜めひび割れ	破 壊		破壊モード
					200万回後	せん断	
砕石 W/C =50%	1.4,73,50	1.7	700回	左と同じ	11.52t	せん断	せん断
	1.4,73,300	3.9	発生せず	くり返し数 1,200回	532,600回	定破	定破
	1.4,73,800	6.9	発生せず	くり返し数 24,000回	くり返し数 853,900回	定破	定破
玉砂利 W/C =50%	1.4,73,50	2.0	発生せず	くり返し数 108,000回	くり返し数 454,200回	せん断	せん断
	1.4,73,300	5.3	くり返し数 1,500回	くり返し数 1,400回	200万回後 13.36t	せん断	せん断
	1.4,73,800	12.1	くり返し数 400回	くり返し数 110,000回	くり返し数 156,000回	せん断	せん断
砕石 50%	無処理		くり返し数 300回	左と同じ	2,000回	継ぎ目のすべり	継ぎ目のすべり
玉砂利 50%	無処理		静的載荷 7.0t		7.0t	継ぎ目のすべり	継ぎ目のすべり

処理条件 1.4,73,50はショットの寸法(mm) 投射速度(m/sec) 投射密度(kg/cm²)の順に示す。無処理は打ち継ぎ面を処理せずに新コンクリートを打設

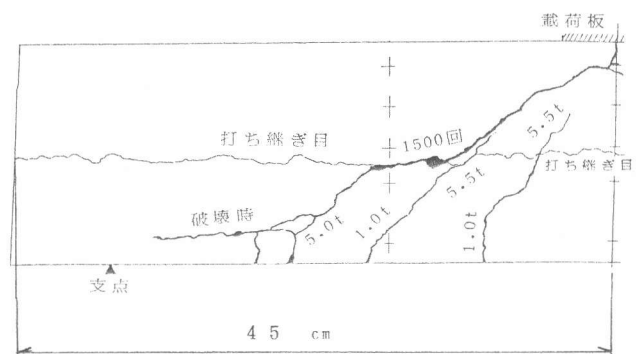


図-10 打ち継ぎ目のクラック発生状況
玉砂利,平均深さ5.3mmの場合