

報告 水平打継目の円柱供試体による曲げ強度試験

天明 敏行^{*1}・尾原 祐三^{*2}・力石 佑也^{*3}・齋藤 淳^{*4}

要旨: コンクリート構造物の安全性及び水密性を確保する上で、新旧コンクリート間の水平打継目の品質確保は重要な課題である。施工時に実施される打継目の処理方法は多様であるが、本研究ではできるだけ広い条件の範囲で試験を行うことを目的として、円柱供試体を用いた簡易曲げ強度試験を実施し、その結果は JIS 法との比較や FEM 応力解析によって妥当性を確認した。試験によって水平打継目に影響を及ぼす各要因、すなわち旧コンクリートのグリーンカット方法や養生方法、敷モルタルの物性などが水平打継目の曲げ強度に及ぼす影響を定量的に確認した。

キーワード: 水平打継目, 簡易曲げ強度試験, 円柱供試体, 敷モルタル, グリーンカット

1. はじめに

コンクリート構造物を複数のリフトに分けて打込みを行う場合、各リフトの新旧コンクリート間には水平打継目を設ける必要がある。この水平打継目は、コンクリート構造物の安全性及び水密性を確保する上での弱点となりやすいため、品質の確保が重要な課題である。

施工時の硬化コンクリートの品質は、一般的には JIS A 1108 に規定される「コンクリートの圧縮強度試験方法」によって日常的に十分管理されているが、打継目の品質は一般的には施工時の目視による管理のみであり、十分に管理されているとは言えないのが現状である。しかしながら、水平打継目の重要性は漏水等の不具合の事例からもわかるように、他の部分と同様に一体性が確保されるように慎重に施工することが求められる。

コンクリートの水平打継目の評価に関しては古くから研究が実施されており^{1) 2)}、近年でもポリマーセメントモルタルなど敷モルタルの材料の相違による影響を検討したもの³⁾、ウォータージェットによるグリーンカットの影響を検討したもの⁴⁾、遅延剤の影響を評価したもの⁵⁾、打継目表面の湿潤状態や旧コンクリートの乾燥状態に関する影響を検討したもの⁶⁾、旧コンクリートの養生方法による影響を検討したもの⁷⁾、新旧コンクリートの配合の相違による影響を検討したもの⁸⁾など、研究事例は多い。

これらの研究事例は水平打継目に影響を及ぼす多岐にわたる要因、すなわち旧コンクリートの打継目処理(グリーンカット)方法やその施工時期、旧コンクリートの養生方法、敷モルタルの配合や厚さ、そして新旧コンクリートの配合などについて個別に検討が実施されている。しかし、施工管理や品質確保の具体的対策を検

討するにあたっては試験方法等が同様な条件の下で相対的に評価されたデータがあることが望ましい。

本研究では、特に水平打継目が多いダムコンクリートを対象に、水平打継目の一体性に影響を及ぼす様々な要因について、できるだけ広い条件の範囲で試験を行い、定量評価することを試みた。このため、評価のパラメータとして建設現場等の圧縮強度試験で一般的に使用される $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ 200mm の円柱供試体を用いた曲げ強度試験を実施した。円柱供試体による曲げ強度試験はこれまでに提案されており⁹⁾、その妥当性は理論的に検討されているものの実施例は少ない。ばらつきや精度において十分な検証がなされているとはいえないが、試験の簡便さは十分に価値があると考え、採用を試みた。

2. 試験方法

2.1 簡易曲げ強度試験

コンクリート打継目は従来から引張強度や曲げ強度がパラメータとして使用され、評価されている。本研究では、なるべく多くの試験ケースを実施することが目的のひとつであることから、試験が容易な曲げ強度試験を採用することとし、試験をさらに容易化すべく、JIS A1106 に規定されている角柱供試体の代わりに $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ 200mm の円柱供試体を用いることとした。

既往の研究⁹⁾によると、円柱供試体で曲げ強度試験を実施する場合には、ばらつきの点などから中央集中載荷は三等分点載荷に劣る。しかし、ばらつきは大きくとも適当な係数を用いることによって、中央集中載荷による推定も可能であるとされており、円柱供試体による曲げ強度試験は $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ 200mm 、スパン 180mm で中央集中載荷の場合、0.74 倍をすることによって JIS 供試

*1 ハザマ 土木事業本部技術第三部 工博 (正会員)

*2 熊本大学大学院 自然科学研究科教授 工博

*3 熊本大学 社会環境工学科

*4 ハザマ 技術環境本部技術研究所 (正会員)

体の曲げ強度を推定できるとされている。さらに、「三等分点荷重の場合は最大曲げモーメントの分布区間が広いので、その区間内の最も弱い箇所破壊するのに反し、中央集中荷重の場合では、最大曲げモーメント付近で強制的に破壊する。しかし、円柱供試体の場合では、最大引張応力を受ける部分が極めて狭いので弱点の影響を受けやすい。」と述べられている。このことから、円柱供試体を用いる場合には、弱点（打継目）の影響を受けずに打継目以外の場所で破壊する可能性の高い三等分点荷重よりも、打継目を評価する試験方法としては適していると考えられる。

本研究で実施した円柱供試体の曲げ強度試験の状況を図-1及び図-2に示す。ここでは、JISによる曲げ強度試験と区別するため、便宜上簡易曲げ強度試験と呼ぶ。

上記既往文献⁹⁾では、円柱供試体で中央荷重試験を行う際の支点や荷重点で用いる荷重装置は、試験の簡便さを考慮すればJISの荷重装置と同様な180°（棒状）の装置が実用的とされている。ここでは強度の低いダム内部コンクリートを対象とした試験も実施するため、支点での破壊を防止するためにV字型（90°）の荷重装置を使用した。また、支点と供試体端部との距離を長くして支点破壊を防止するため、支点間距離は10mm短い160mmとした。円柱供試体の中央集中荷重試験による曲げ強度 σ_b (N/mm²)の計算方法は式(1)に示すとおりである。

$$\sigma_b = \frac{8Pl}{\pi l^3} \quad (1)$$

（破断位置の補正値は $1 - \frac{2x}{l}$ ）

ここで、 P : 供試体破壊時の荷重 (N)、 l : スパン長 (mm)、 d : 供試体の直径 (mm) x : スパン中央より供試体下面における破壊位置までの距離 (mm) を示す。

なお、JIS A1108 圧縮強度試験、JIS A1106 曲げ強度試験との相関を把握する目的で、打継目のないコンクリートで各試験を行い、簡易曲げ強度試験の試験結果との関係を確認した。

さらに、中央集中荷重による円柱供試体の曲げ強度試験時の応力状態をシミュレーションした3次元FEM応

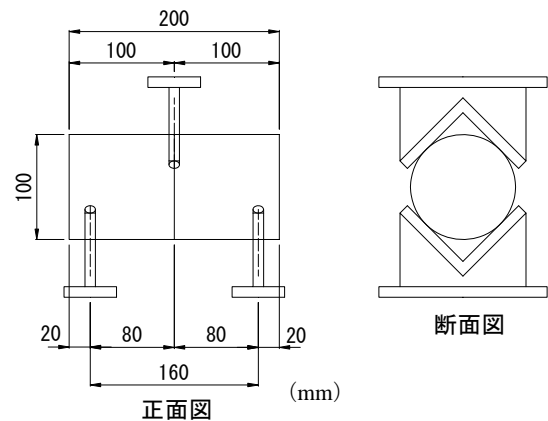


図-1 簡易曲げ強度試験（荷重装置）



図-2 簡易曲げ強度試験の試験状況

力解析を実施し、理論式による試験結果の妥当性を評価した。

2.2 コンクリートの使用材料と配合

試験で用いたコンクリートの材料と配合は青森県で建設中の重力式コンクリートダムの外部コンクリートA1と内部コンクリートB2を基に決定した。

セメントは中庸熟ポルトランドセメント（密度3.21g/cm³、比表面積2990cm²/g）、フライアッシュ（Ⅱ種密度2.30g/cm³）の混合セメントである。骨材は原石山で採取した玄武岩の原石を骨材製造設備で破碎分級したものをを用いた。細骨材は表乾密度2.79g/cm³、吸水率1.7%、実績率63%であり、粗骨材は表乾密度2.76~2.82g/cm³、吸水率1.1~1.9%である。

コンクリートの配合は、円柱供試体の直径が100mm

表-1 コンクリートの配合

配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水結合 材比 W/(C+F) (%)	フライ アッシュ 結合材比 F/(C+F) (%)	細骨材率 s/a (%)	単用量(kg/m ³)									
							水 W	セメント C	フライ アッシュ F	細骨材 S	粗骨材			混和剤(kg/m ³)		
											80-40mm	40-20mm	20-5mm	15LR	No.8	No.202
A1(元)	20	3.0	3.5	48	30	28	105	154	66	622	467	474	618	2.42	-	0.11
A1 試験用	20	3.0	3.5	48	30	28	158	232	99	937	-	-	931	3.65	-	0.17
B2(元)	20	3.0	3.5	74	30	31	111	105	45	688	466	465	613	-	1.65	0.20
B2 試験用	20	3.0	3.5	74	30	31	166	157	67	1028	-	-	916	-	2.47	0.29

であることから、元の配合から粗骨材の 20mm 以上の骨材 (G2 及び G3) を除いた配合で供試体を作製した。各配合の元の配合と試験用の配合を表-1 に示す。

2.3 試験ケース

打継ぎの間隔については、コンクリートダムの面状工法における一般的な打込みサイクルである 3 日後 (中 2 日) とした。また、試験では打継目のあるコンクリート供試体の簡易曲げ強度試験のほか、打継目のない供試体で比較ができるように、圧縮強度試験と角柱曲げ強度試験を実施した。打ち継いだコンクリートの強度試験は 2 層目を打ち継いだ 90 日後に実施した。

試験ケースは水平打継目に影響を及ぼす要因、すなわち、敷モルタルの材料や配合・厚さ、グリーンカットの有無や実施方法、清掃方法、養生方法母材の配合 (外部配合 A1 と内部配合 B2) などについて、実際の施工を想定して決定した。試験ケースを表-2 に示す。

各ケースの供試体の本数は、ばらつきを考慮して 6 本とした。試験ケースの中で標準的な施工を行ったものを基本ケース (No.6) とした。

基本ケースでは、上下層のコンクリートを A1 配合とし、コンクリートの水セメント比が 48% であることから、敷モルタルの水セメント比もこれとほぼ同じ 49% とした。

また、その厚さは 15mm とした。グリーンカットは金属ブラシで行い、コンクリート打込みの 24 時間後に実施した。そして仕上がり状況は粗骨材の表面にモルタルが付着しない程度とした。グリーンカット後は 20°C の水で湛水養生を実施した。2 層目の打込み前は水洗いによる清掃を行い、砂が残っていないことを入念にチェックした。2 層目の打込み後は 20°C の養生水槽で養生を行った。以上が基本ケースの供試体作製方法であるが、以下に条件を変えた各ケースの詳細について述べる。

No.4~8 はモルタルの水セメント比を 35%~74% へ変化させたケースである。35% のケースでは、ワーカビリティを確保するために、高性能 AE 減水剤をセメントの 1.0% 添加した。

No.9, 10, 11 は敷モルタルに特殊なモルタルを使用したケースである。セメント系無収縮モルタルは、高流動性やノンブリーディング、無収縮性が特徴のプレミックスタイプの市販製品である。JIS A1123 に準ずるブリーディング率は 0.0%、材齢 28 日の圧縮強度は 67.5 N/mm² である。接着増強剤入りモルタルは市販の特製ゴムラテックスを混和したモルタルである。接着力や曲げ変形性能、防水性を高めることを目的として開発された。元のモルタルの水セメント比は 48% である。また、水密性向上剤

表-2 試験ケース

ケース No.	敷モルタル	グリーンカット 清掃状況	1層目後の 養生	配合 (下層と上層)	基本ケースとの相違 (条件)
1	-	1回打設/継目なし	-	A1	1.短期継目なし
2	敷モルタルなし	無処理	湛水	A1とA1	2.無処理, 敷モルタルなし
3	敷モルタルなし	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	3.敷モルタルなし
4	W/C=74%, t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	4.敷モルタル(W/C=74%)
5	W/C=60%, t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	5.敷モルタル(W/C=60%)
6	W/C=49%, t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	6.基本ケース(W/C=49%)
7	W/C=42%, t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	7.敷モルタル(W/C=42%)
8	W/C=35%, t=15mm 高性能AE減水剤	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	8.敷モルタル(W/C=35%)
9	ポリマーセメントモルタル t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	9.ポリマーセメントモルタル
10	接着増強剤入りモルタル t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	10.接着増強剤入りモルタル
11	水密性向上剤入り t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	11.水密性向上剤入りモルタル
12	セメントミルクC: W=1:0.8, t=5mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	12.セメントミルク
13	W/C=49%, t=5mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とA1	13.モルタルの厚さ(薄い, t=5mm)
14	W/C=49%, t=15mm	無処理	湛水	A1とA1	14.グリーンカット(無処理)
15	W/C=49%, t=15mm	深い	湛水	A1とA1	15.グリーンカット(オーバーカット)
16	W/C=49%, t=15mm	ずり残し	湛水	A1とA1	16.グリーンカット(ずり残し)
17	ブリージング終了時に 打継目処理剤Aを250g/m ² 塗布 モルタルなし	無処理	処理剤/ 乾燥防止	A1とA1	17.打継目処理剤A
18	打設直後に 打継目処理剤B300g/m ² 散布 W/C=49%, t=15mm	良好GC, 48hr後	処理剤/ 乾燥防止	A1とA1	18.打継目処理剤B
19	W/C=49%, t=15mm	良好GC, 24hr後	無養生 (乾燥)	A1とA1	19.養生の影響(乾燥)
20	-	1回打設/継目なし	-	B2	20.短期B2継目なし
21	敷モルタルなし	無処理	湛水	B2とB2	21.B2とB2, 無処理, 敷モルタルなし
22	W/C=74%, t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	B2とB2	22.B2とB2, 敷モルタル(W/C=74%)
23	敷モルタルなし	無処理	湛水	A1とB2	23.A1とB2, 無処理, 敷モルタルなし
24	W/C=49%, t=15mm	良好GC, 24hr後	湛水	A1とB2	24.A1とB2, 敷モルタル(W/C=49%)

入モルタルは、市販製品であるシリカを主成分とした粉末を混和剤として用いている。防水性や強度を高めるために開発され、セメント水和物との反応により微細な亀裂を充填閉塞する自癒作用を特徴としている。元のモルタルの水セメント比は48%であり、セメントの3%を混和剤で置き換えた。

No.12 は敷モルタルの代わりにセメントミルク (C : W = 1 : 0.8) を使用したケース、No.13 は敷モルタルの厚さを5mmと薄くしたケースである。

No.14~16 はグリーンカットや清掃の影響を検討したケースであり、No.14 はグリーンカットを実施しないケース、No.15 はオーバーカットを想定したケースである。基本ケースと同じ金属ブラシを使用した。粗骨材がさらに打設面より上に出るようにグリーンカットを実施した。No.16 は実際の施工現場において、清掃の完成度の影響を調べるもので、ずりが多少残っていることを想定し、10g の表乾状態の砂を円柱供試体の打継目にはほぼ均等になるように敷いた。

No.17, 18 はコンクリート構造物の施工現場でしばしば使用される継目処理剤の効果を確認するためのケースである。No.17 は敷きモルタルを施工しない一般構造物で用いられる市販の継目処理剤である。また、No.18 はグリーンカットの処理時間を遅らせることができる遅延剤である。

No.20~24 はコンクリートの配合の相違による継目強度を検討する目的で B2 と B2 もしくは B2 と A1 の試験用配合を用いた打継目の強度試験を実施した。

3. 試験結果

3.1 簡易曲げ強度試験の評価

(1) JIS 法との比較

継目のない供試体を用いた JIS 法による圧縮強度試験と曲げ強度試験及び簡易曲げ強度試験の試験結果の一覧を表-3 に示す。

簡易曲げ強度試験による簡易曲げ強度は JIS 法による曲げ強度の約 1.3 倍であり、今回の試験結果を 0.77 倍すれば JIS 供試体の曲げ強度となることを示す。これは、0.74 倍をすることによって JIS 供試体の曲げ強度を推定できる文献9)の試験結果とほぼ同じ結果であったといえる。

(2) 簡易曲げ強度と変動係数

各ケースの簡易曲げ強度及び変動係数の一覧を表-4 に示す。変動係数が40%を超えたケースはケース 2, 14 及び 18 である。これらのうち、ケース 2 と 14 は試験開始前に打継目で供試体が壊れてしまったため、強度がゼロとしたものも含んでいる。よって、大きなばらつきが生じたのはケース 18 のみであり、ばらつきの原因は簡

表-3 継目のない供試体の強度試験の結果一覧 (N/mm²)

		A1配合	B2配合	平均
圧縮強度 JIS A1108	φ100×200 円柱	44.1	11.0	—
曲げ強度 JIS A1106	100×100 角柱	6.99	2.82	—
簡易 曲げ強度	φ100×200 円柱	8.63	3.82	—
圧縮強度/曲げ強度		6.31	3.90	5.1
簡易曲げ強度 /曲げ強度		1.23	1.35	1.3

表-4 修正曲げ強度と変動係数

ケース	簡易曲 げ強度	変動 係数	ケース	簡易曲 げ強度	変動 係数
	(N/mm ²)	(%)		(N/mm ²)	(%)
1	8.63	4.7	13	7.09	5.7
2	1.34	62.1	14	1.77	86.3
3	5.64	7.1	15	7.97	9.6
4	6.18	7.5	16	6.28	13.2
5	7.05	7.3	17	4.68	19.5
6	8.34	7.5	18	4.26	45.3
7	8.41	7.4	19	5.04	9.1
8	7.77	8.0	20	3.82	4.1
9	8.70	8.6	21	1.35	4.7
10	7.69	7.8	22	3.81	2.6
11	8.21	7.0	23	1.48	14.5
12	6.78	7.3	24	5.22	5.1

易曲げ強度試験の方法ではなく、打継目処理剤を使用したため、供試体の打継目の強度にばらつきが生じたためと考えられる。これらの3ケースを除いた変動係数の平均値は8.0%であった。

(3) 3次元 FEM 応力解析結果

円柱供試体を用いた簡易曲げ強度試験において理論式(1)で求めた試験結果は JIS 法による曲げ強度と乖離が生じていることから、3次元 FEM による応力解析を行い、簡易曲げ強度試験時に生じる応力と理論式の比較を行った。解析ではφ100mmの円柱供試体に対し、本試験で使用した図-1の載荷装置を用い、中央載荷を実施した時の応力分布を検討した。解析モデル図を図-3に示す。

今回の簡易曲げ強度試験を再現したφ100mm、スパン間隔160mm時の応力分布図を図-4に示す。図-4に示された供試体下部中心の縁応力が曲げ応力である。

次に、簡易曲げ強度試験による解析値を σ_{bn} とし、式(1)の理論式に係数 K を乗じた場合の σ_{bn} を求める式(2)とする。

$$\sigma_{bn} = K \cdot \frac{8Pl}{\pi d^3} \quad (2)$$

供試体のスパン長 l を変化させ、スパン長と直径の比 l/d を0.8から4.6と変化させた場合の l/d と K との関係を図-5に示す。スパン長が短くなるに従い、 K は小さくなる。本簡易曲げ強度試験の場合は l/d が1.6であり、 K は0.87となる。JIS法による試験結果との比較では K に

相当する値は0.77であったことから、解析値より1割程度小さな曲げ強度となった。これは、前述したように円柱供試体では、最大引張応力を受ける部分が極めて狭いので弱点の影響を受けやすいことが原因と考えられる。

解析値との誤差は生じたが、供試体の破壊状況はほとんど全ての供試体が打継目で破壊しており、既往文献との試験結果の差異が少なかったこと、変動係数が大きくないことなどを合わせて評価すると、今回の打継目の強度を評価する試験としては、円柱供試体による簡易曲げ強度試験の妥当性が確認できたと考えられる。

3.2 簡易曲げ強度試験の試験結果

簡易曲げ強度試験の結果を図-6に示す。図には継目のない円柱供試体の簡易曲げ強度試験の結果を1とした場合の相対的な曲げ強度を曲げ強度比として左軸に示し、右軸には式(2)の $K=0.87$ ($l/d=1.6$) とした時の修正曲げ強度を示している。

図-6より、打継目の曲げ強度比（相対強度）について以下のことがわかる。（< >内はケース番号を示す。）

- 1) グリーンカット、敷モルタルを共に実施しない場合は0.15程度になる。<2>
- 2) 敷モルタルがない場合は0.65程度になる。<3>
- 3) 敷モルタルのW/Cが母材と同程度以下の場合には母材と同程度の曲げ強度となる。ただし、W/C=35%の時は0.9程度の値であった。<6~8>
- 4) 敷モルタルのW/Cが49%から74%と増加するに従い、曲げ強度は小さくなる。<4~6>
- 5) 特殊モルタルの使用は母材と同程度であったが、モルタル接着剤入は若干低く、0.9程度であった。<9~

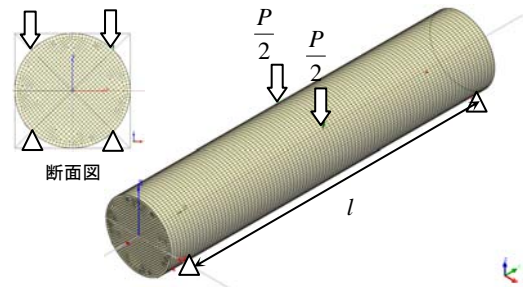


図-3 解析モデル図

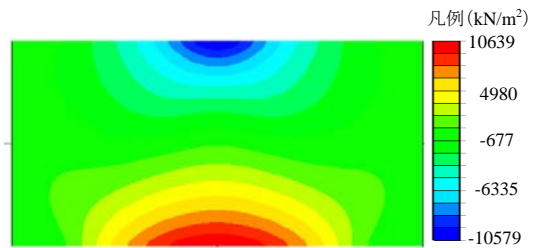


図-4 応力分布図 ($l/d=1.6$)

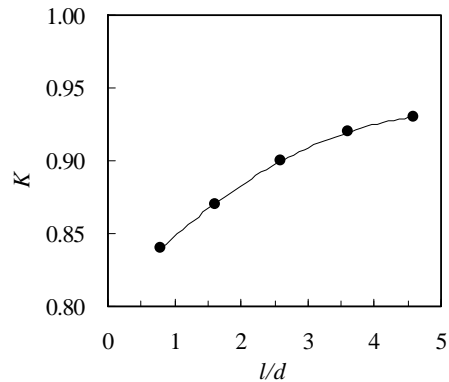


図-5 K と l/d の関係

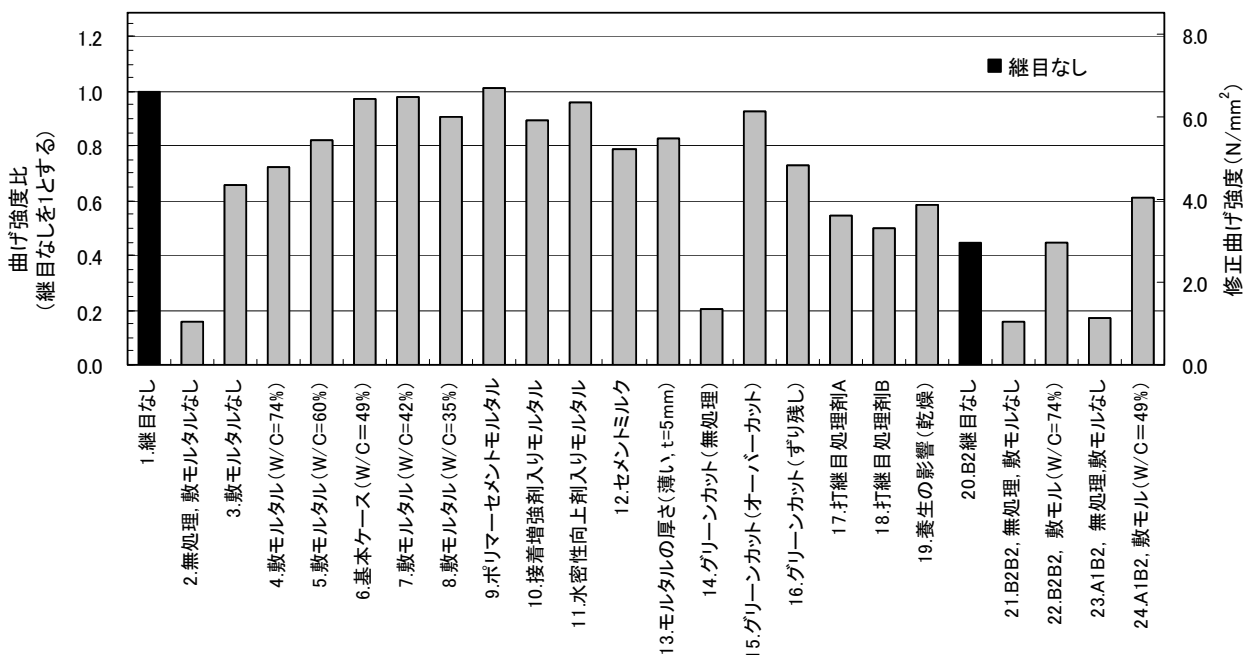


図-6 簡易曲げ強度試験結果

11>

- 6) 打継ぎ処理剤2種の使用はどちらも0.5程度であった。<17~18>
- 7) モルタルの代わりにC:W=1:0.8のセメントミルクを使用した場合は0.8程度であった。<12>
- 8) 敷モルタルの厚さの薄い(t=5mm)のケースは0.8程度であった。<13>
- 9) グリーンカットなしの場合は0.2程度であった。<14>
- 10) 標準よりもオーバーカットになった場合は0.9程度であり、母材と比べわずかに低下した。<15>
- 11) 清掃状態が適切でなく、ずりが残った状態で打ち継いだ場合は0.7程度であった。<16>
- 12) 湿潤養生を適切に行わず、乾燥させた場合には0.6程度であった。<19>
- 13) B2同士を打ち継いだ場合は、母材と同じ水セメント比の敷モルタルを使用することで母材と同程度の曲げ強度となった。<22>
- 14) A1にB2を打ち継いだ場合、モルタル、グリーンカットなしでは、B2同士を打ち継いだ場合の曲げ強度と同程度であった。<23>
- 15) A1にB2を打ち継いだ場合、モルタルの水セメント比をA1と同じにすると、B2母材よりも曲げ強度は増加した。<24>

以上1)~15)の結果から、中2日程度で打継ぎを実施した場合には、丁寧なグリーンカットと敷モルタルを施工することにより、打継ぎのない部分と同程度の曲げ強度が期待できるということが、改めて確認できる。そして、その施工方法(敷モルタルの配合やグリーンカットの方法、養生方法など)を変えることにより曲げ強度に影響が出てくることがわかる。

4. まとめ

コンクリート構造物の水平打継ぎ目に影響を及ぼす各要因、すなわち旧コンクリートのグリーンカット方法や養生方法、敷モルタルの物性などが水平打継ぎ目の強度に及ぼす影響を定量的に確認する目的で円柱供試体を用いた簡易曲げ強度試験を実施した。

円柱供試体による簡易曲げ強度試験では、JIS法による曲げ強度試験と比較して、既往文献で得られている比率とほぼ同様の結果であり、3次元応力解析による補正值と比べると1割程度小さくなることがわかった。各ケース5本~6本の供試体の変動係数も8.0%程度と、ばらつきは小さく、曲げ強度を比較検討する際には有効な方法であることを確認した。本試験方法については、補正係数を適切に設定することや最適な荷重(支点)装置の開発などの発展的な課題がある。しかし、試験自体は圧

縮強度試験と同じ供試体を用いることができるため施工現場でも試験が容易であり、普及して信頼性が高まることを期待する。

各ケースの簡易曲げ強度試験の試験結果は横並びにすることにより、施工現場で発生が予想されるさまざまな条件による影響が明らかになった。詳細は試験結果に示したとおりであるが、モルタルの厚さを均一に確保することや単位水量の変化を防止すること、グリーンカットや清掃作業を適切に行うことなど施工時に留意すべきことやその定量的な重要度が明らかとなった。

参考文献

- 1) 吉田徳次郎, 久保田秀雄: 新旧混凝土の接合に就て, 土木学会誌, Vol. 9, No. 3, pp.471-481, 1923.6
- 2) 国分正胤: 新旧コンクリートの打継ぎに関する研究, 土木学会論文集, 第8号, pp.1-24, 昭和25年, 11月
- 3) 中島貴弘, 森脇貴志, 辻幸和, LIN. C: 打継ぎ用材料の配合の相違が打継ぎ強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, 15巻1号, pp.1085-1090, 1993
- 4) 迫田恵三, 足立一郎: ウォータージェットを用いた新旧コンクリートの打継ぎに関する研究, コンクリート工学年次論文集, 日本コンクリート工学協会, 17巻1号, pp.1261-1266, 1995
- 5) 金子林爾, 山田一久: 超遅延剤を用いたコンクリートの表面粗さ評価と打継ぎ目強度に関する研究, 日本コンクリート工学協会, 19巻1号, pp.517-522, 1997
- 6) 足立一郎, 迫田恵三, 応力, 内海秀幸: 旧コンクリートの含水率が新旧コンクリートの打継ぎ強度に与える影響, 日本コンクリート工学協会, 21巻2号, pp.1327-1332, 1999
- 7) 林承燦, 国枝稔, 鎌田敏郎, 六郷恵哲: 新・旧コンクリートの養生方法が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響, 日本コンクリート工学協会, 24巻1号, pp.1053-1058, 2002
- 8) 林承燦, 国枝稔, 鎌田敏郎, 六郷恵哲: コンクリートの配合および打継ぎ方向が打継ぎ部の付着性状に及ぼす影響, 日本コンクリート工学協会, 25巻1号, pp.557-562, 2003
- 9) 森野奎二・西野昭, コンクリートの円柱供試体による曲げ強度試験方法について, 愛知工業大学, 愛知工業大学研究報告B通号14, pp.243-253, 1979