

鉛直打継処理方法の違いがコンクリートの力学性能に及ぼす影響

榎原彩野^{*1}・村上祐治^{*1}・木村 聡^{*2}・橋本竜也^{*3}

コンクリートの鉛直打継目において、各種打継処理方法の違いが新旧コンクリート間の付着性能にどの程度影響を及ぼすかを検討するため、直接引張強度およびせん断強度試験を行った。その結果、鉛直打継処理方法として、チップング、突起シートおよび波型の形状の直接引張強度は、打継目が無い場合と同程度以上となり、付着性能の向上に有効であった。さらに、これらの打継処理方法におけるせん断強度は、打継目が無い場合と同程度となったことから、力学的性能を確保できる打継処理方法であることが明らかとなった。

キーワード：鉛直打継目、直接引張強度、せん断強度、突起、チップング、波型

1. はじめに

コンクリート構造物を建設する際、水平および鉛直打継目が設けられる場合が多く、打継目の付着性能はコンクリート構造物の耐久性あるいは耐力に与える影響が大きいとされている¹⁾。したがって、コンクリートを打ち継ぐ際は、新旧コンクリートの付着性能を高めることが重要であると言える。

一般に現場で採用されている打継方法としては、チップング、凝結遅延剤の塗布あるいは高圧水の噴射により打継目に凹凸を設ける方法等がある。付着性能をより向上させるための方法として、上記以外の新しい工法も提案されており、現場の条件に合わせた施工方法を検討する必要がある。ここで、既往の研究^{2), 3)}によると、打継目のせん断強度は打継目における凹凸の間隔と高さに関係があることが報告されている。しかしながら、種々の打継目形状について、直接引張強度およびせん断強度を十分に比較検討している研究事例は少ない。

以上のことから、本試験では、従来の工法および新工法における鉛直打継処理方法の違いが直接引張強度およびせん断強度に与える影響を評価し、コンクリートの付着性能を確保するための適切な打継処理方法を検討した。

2. 試験概要

2.1 検討する打継目の形状

本試験で検討する打継目の形状は、打継目無し、チップング、遅延剤、突起シート、波型の5ケースである。表-1に各種打継処理方法を、図-1に突起シート、波型の凹凸形状を示す。チップングは、コンクリート硬化後に

表面全体を5mm程度はつり、粗面仕上げを施したものである。遅延剤は、コンクリートを打ち込む型枠表面に不飽和ポリエステル樹脂を有効成分とする凝結遅延剤を塗布したシートを貼り付け、脱枠後にハイウォッシャーで表面を削り凹凸を形成する方法である。また、突起シートは、図-1に示すように、円錐台形状の凸状突起を有する

表-1 各種打継処理方法

名称	処理方法
打継目無し	—
チップング	打設5日後、表面をはつって打継目に凹凸を形成
遅延剤	予め遅延剤を塗布したシートを型枠に貼付け、打込み1日後、高圧水で目荒らし
突起シート	突起シートを型枠に貼り付けて打継目に凹凸を形成
波型	波型の木板を型枠に取付けて打継目に凹凸を形成

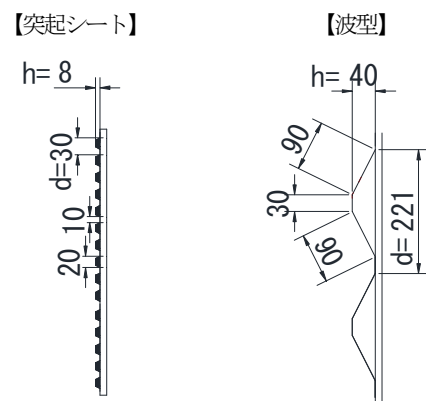


図-1 突起シート、波型の凹凸形状

*1 土木研究部 *2 技術第二部 *3 KSK

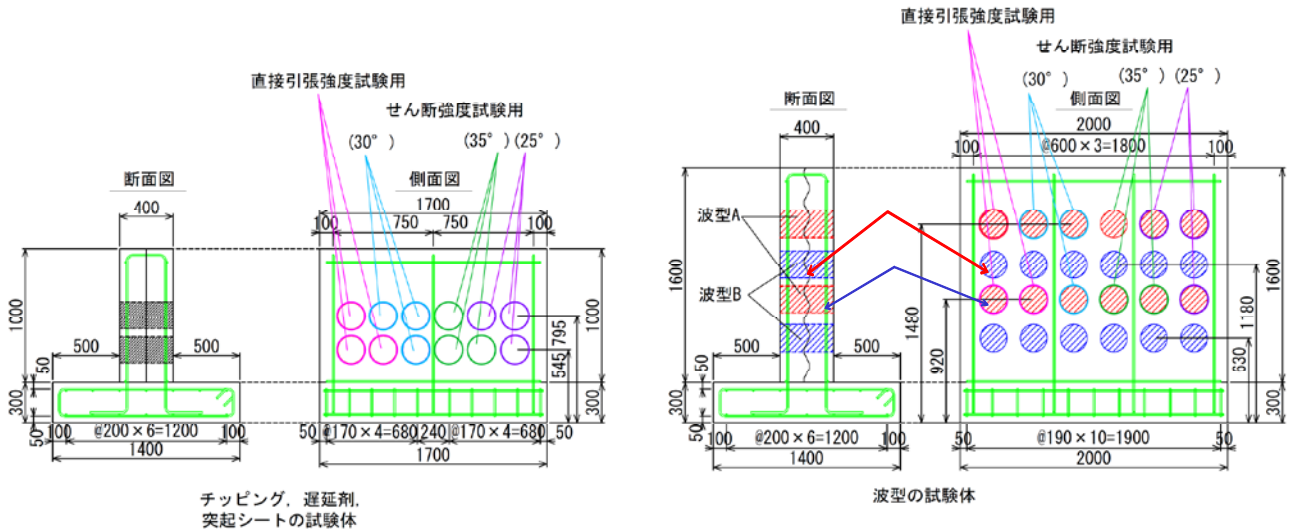


図-2 試験体形状

シート状の樹脂製品であり、コンクリート鉛直面の打継目に大小の凹凸をつける材料を用いる手法である。さらに波型は、突起シートよりも大きい凹凸の形状をした木板を型枠に取り付けて打継目の一体化を図る処理方法である。既往の研究成果²⁾によると、 h を打継目の凹凸高さ、 d を打継目の凹凸幅とした場合、両者の比 h/d がおおよそ0.2以上の時にせん断破壊を起こし、 h/d がおおよそ0.2以下の時に支圧破壊を起こすことが、実験的にも理論的にも明らかとなっている。この結果を参考に、波型における形状は h/d がおおよそ0.2になるようにした。

2.2 試験体の作製

図-2に、製作した試験体の形状を示す。実際の現場で適用するにあたり、実物大を模擬した試験体を製作して打継目の検討を行った。ただし、打継目無しにおいては、 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ の円柱供試体で試験を実施した。

表-2にコンクリートの配合を示す。使用したコンクリートの結合材は、高炉セメントB種（密度： $3.04\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積： $3800\text{cm}^2/\text{g}$ ）である。細骨材は茨城県神栖市産

の砂（密度： $2.59\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率：2.30）および栃木県佐野市産の砕砂（密度： $2.63\text{g}/\text{cm}^3$ 、粗粒率：3.30）、粗骨材は茨城県土浦市産の碎石（密度： $2.68\text{g}/\text{cm}^3$ 、実績率：60%）を使用した。また、混和剤はAE減水剤標準形I種を使用した。ここで、設計基準強度 f'_{ck} は $24\text{N}/\text{mm}^2$ としており、設定スランプは8.0cm、空気量は4.5%である。打込時におけるコンクリート温度の平均値は 18°C であった。

一層目コンクリート打込み後5日目に打継処理を行い、二層目コンクリート用の型枠を組み立て、7日目で二層目コンクリートを打ち込んだ。ただし、遅延剤を用いる方法では、一層目コンクリート打込み翌日に脱枠し、高圧水で打継目の目荒らしを施した。図-3に各種打継処理方法における打継目状況を示す。二層目コンクリート打込み後の養生は、材齢28日間の気中養生とした。

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	混和剤
				砂	砕砂		
47.5	42.8	158	333	534	232	1054	3.33

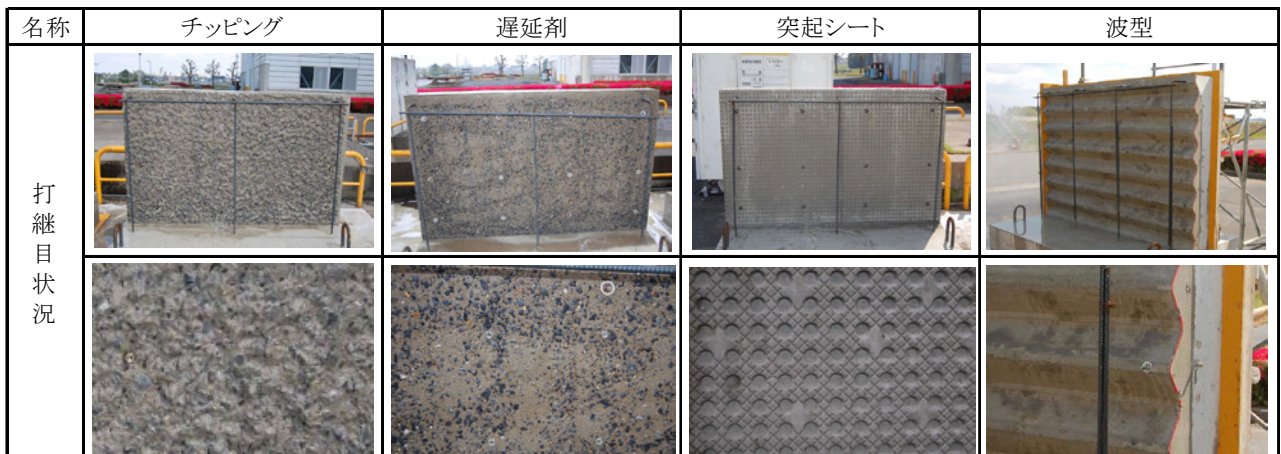


図-3 各種打継処理方法における打継目状況

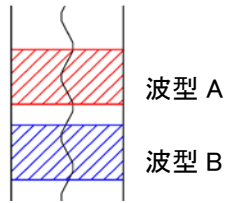


図-4 コアの採取パターン



写真-1 打継目の凹凸深さの測定

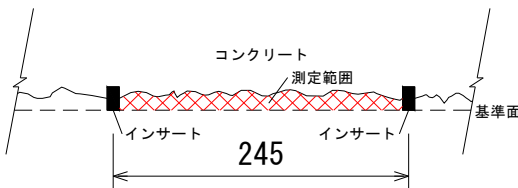


図-5 基準面の設定方法

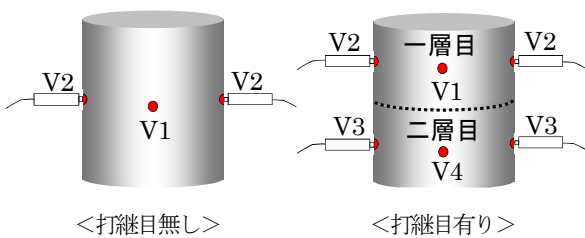


図-6 測定位置



写真-2 直接引張強度試験

養生終了後、 $\phi 200 \times$ 高さ 400mm のコアを各種打継処理方法につき 12 本ずつ採取し、打継ぎ目面から ± 100 mm の寸法、すなわち、 $\phi 200 \times 200$ mm の試験体になるよう、コアの両端を切断した。

ここで、波型においてはコアの採取位置により打継目の形状が異なることから、位置をずらしてコアを 12 本ずつ採取した。図-4 に、コアの採取パターンを示す。以下、打継目の形状による違いをそれぞれ波型 A および波型 B と称す。図-2 に示すように、波型 A はコアの中心が下端から 920mm、1480mm となる位置で、波型 B は 630mm、1180mm となる位置で採取した。また、チップング、遅延剤、突起シートにおいては、下端からコア中心までの距離が 545mm、795mm となる位置でコアを採取した。

これらコアの採取位置が試験結果に与える影響を小さくするため、本試験においては図-2 に示すように、高さの異なる位置で採取したコアが混在するように 3 本ずつ選択し、以下に示す各試験に供した。また、それぞれの試験値は 3 体の平均値を用いることとした。

2.3 試験項目

(1) 打継目の凹凸深さ

チップングおよび遅延剤試験体については打継目の凹凸形状を定量的に把握するため、楕形定規による計測を行った。写真-1 に打継目の凹凸深さの測定状況を、図-5 に、基準面の設定方法を示す。図-5 に示す様に、測定基準面は試験体にあらかじめインサートを 3 箇所埋め込んだ面とした。インサート間を楕形定規で形状を型取り、方眼用紙に写し取った打継目の凹凸深さを 10mm 間隔で実測した。

(2) 超音波伝播速度

採取したコアは、異なる高さで採取していることから、大型試験体におけるコンクリートの品質のばらつきを確認する必要がある。既往の研究成果⁴⁾によると、超音波伝播速度の測定により、コンクリートの圧縮強度等の品質および均質性を評価することができるとされている。このことから、各コアの超音波伝播速度も合わせて測定した。

超音波測定装置は、東横エルメス製を使用した。周波数は 28kHz である。図-6 に示す測定位置に探触子を設置し、探触子間を超音波が通過するのに要する時間を測定して、その値から超音波伝播速度を算出した。測定は、直角方向で 2 点ずつとし (V1, V2 または V3, V4)、2 点の平均値を各試験値とした。

(3) 直接引張強度

直接引張試験は、 $\phi 200 \times 200$ mm の試験体を直接引張試験用治具にエポキシ樹脂接着剤によって取り付け、万能

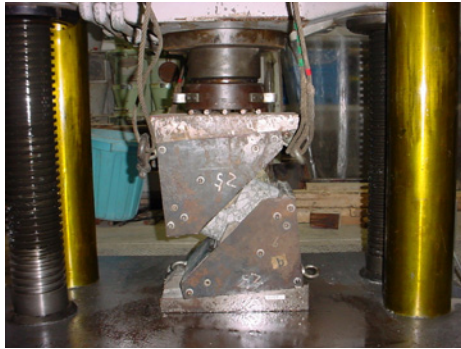


写真-3 せん断試験
(試験体φ200×200mm, せん断角度: 25・30・35度)

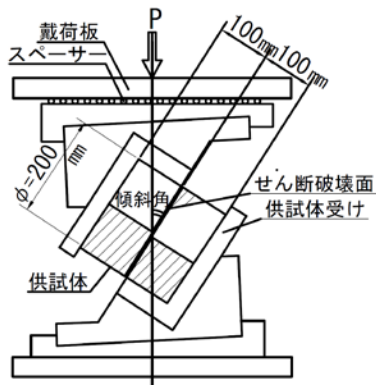


図-7 一面せん断試験概要図

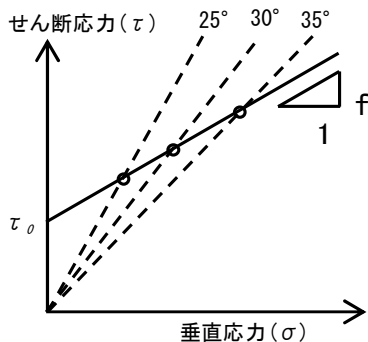


図-8 Mohr-Coulombのせん断破壊基準線

試験機を用いて直接的に引張応力がかかる試験方法を採用した。写真-2に直接引張強度試験の状況を示す。

(4) せん断強度

せん断試験は、φ200×200mmの試験体をせん断角度25度、30度、35度によってせん断試験を行い、そのせん断強度と軸力の関係からコンクリートのせん断強度を求め、一面せん断試験方法を用いた。写真-3にせん断試験の状況を示す。この試験方法は、破壊荷重Pより、式(1)を用いて求められる垂直応力σおよびせん断応力τの関係から、各せん断角度においての(σ, τ)をプロットし、Mohr-Coulombのせん断破壊基準線を特定する方法である。図-7、図-8に、一面せん断試験概要図およびMohr-Coulombのせん断破壊基準線を示す。試験傾斜角は

25°, 30°および35°として、純せん断強度τ₀および摩擦係数fを求めた。

$$\sigma = \frac{P}{A} \sin \alpha, \quad \tau = \frac{P}{A} \cos \alpha, \quad \tau = \tau_0 + f \cdot \sigma \quad (1)$$

ここに、σ: 垂直応力 (N/mm²)

P: 破壊荷重 (kN)

A: せん断面積 (mm²)

α: せん断角度 (°)

τ: せん断応力 (N/mm²)

τ₀: 純せん断応力 (N/mm²)

f: 摩擦係数

なお、せん断強度試験および直接引張強度試験は、二層目打込み後28日から40日の間で実施した。

(5) 圧縮強度および割裂引張強度

コンクリートの引張強度は、一般的に割裂試験によって得られる値を用いられることが多い。また、コンクリート標準示方書⁵⁾によると、式(2)を用いてコンクリートの圧縮強度から引張強度を間接的に算出してもよいとされている。

$$f_{tk} = 0.23 \times f'_{ck}{}^{2/3} \quad (2)$$

ここに、f'_{ck}: 圧縮強度 (N/mm²)

f_{tk}: 引張強度 (N/mm²)

ここでの引張強度は割裂引張強度と同等と認識されている場合が多い。このことから、式(2)より得られる割裂引張強度と試験により得られる直接引張強度との比較検討を行うため、JIS A 1108、およびJIS A 1113に基づいて打継目が無い供試体における圧縮強度、および割裂引張強度を測定した。測定に使用した供試体はφ100×200mmの円柱供試体である。また、試験時の材齢は28日であり、一層目と二層目の平均値を試験値とした。

(6) 推定割裂引張強度

φ100×200mmおよびφ200×200mmの円柱供試体における打継目無しの割裂引張強度比を用いて、各種打継処理方法の割裂引張強度を式(3)によって間接的に推定した。以下、推定される引張強度を推定割裂引張強度と称す。

$$\text{推定} f'_t = f_{t100} \times \frac{f'_{t200}}{f_{t200}} \quad (3)$$

ここに、f'_t: 推定されるφ100×200mmの円柱供試体における割裂引張強度 (N/mm²)

f_{t100}: φ100×200mmの円柱供試体における打継目無しの割裂引張強度 (N/mm²)

f_{t200}: φ200×200mmの円柱供試体における打継目無しの直接引張強度 (N/mm²)

f'_{t200}: φ200×200mmの円柱供試体における各

種打継処理方法における打継目の直接引張強度 (N/mm²)

実験結果から、それぞれの打継処理方法における推定割裂引張強度を算出し、打継目無しの割裂引張強度と比較検討した。

3. 試験結果および考察

表-3に、各種打継処理方法における打継目の形状特性および力学的性能の一覧を示す。表-3のチップングおよび遅延剤における凹凸量平均値は、測定した3断面における凹凸量の平均値であり、さらに、hは打継目の凹凸高さ (mm)、dは打継目の凹凸幅 (mm)である。ここで、標準偏差σの正規分布は、平均値を中心に±2σ内に94.5%のデータが入る⁶⁾ことから、チップングおよび遅延剤においてはh=2σとし、また、凹凸深さを10mm間隔で実測したことから、d=10mmとしてh/dを計算した。以下、得られた結果について考察する。

3.1 打継目の形状

表-3より、チップングでは、各試験箇所凹凸量の平均値が6.01mm、標準偏差が2.21mmであり、遅延剤では、凹凸量の平均値が3.80mm、標準偏差が0.72mmであった。すなわち、遅延剤による打継処理方法の方が、凹凸のバラつきは少ないことが確認された。また、図-8は、各種打継処理方法における測定距離間の凹凸量である。図-8より、チップングおよび遅延剤により、打継目の表面を削ることはできるものの、深さ方向に深さを制御することは難しいと考えられる。一方で、突起シートおよび波型においては機械的に表面に凹凸を形成させるものであるため、打継目における凹凸量を制御しやすい方法であると言える。

3.2 引張強度

(1) 直接引張強度

図-9に、各種打継処理方法における直接引張強度を示す。図-9より直接引張強度は大きい順に、波型A、波型B、突起シート、チップング、打継目無し、遅延剤と

表-3 各種打継処理方法における打継目の形状特性および力学的性能の一覧

打継処理方法	大型試験体			φ200×200mm 円柱供試体			φ200×200mm 円柱供試体	φ100×200mm 円柱供試体			
	凹凸量平均値 (mm)	標準偏差 σ (mm)	h/d	せん断試験			直接引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	推定割裂引張強度 (N/mm ²)	
				純せん断強度 (N/mm ²)	摩擦係数	相関係数					
打継目無し	—	—	—	4.58	1.12	0.98	1.33	37.5	2.91	—	
チップング	6.01	2.21	0.44	4.36	1.02	0.99	1.34			2.92	
遅延剤	3.80	0.72	0.14	2.94	1.10	0.96	1.15			2.52	
突起シート	2.78	3.90	0.27	4.24	1.04	0.99	1.46			3.19	
波型	A	17.40	14.84	0.18	4.38	1.08	0.99			1.97	4.30
	B				5.02	1.04	0.99			1.87	4.07

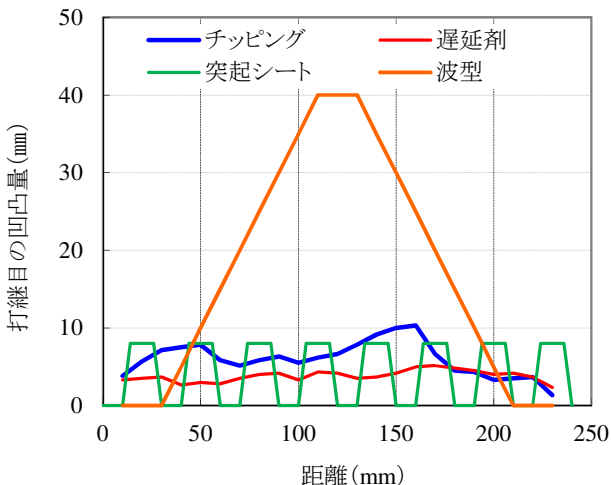


図-8 各種打継処理方法における凹凸量

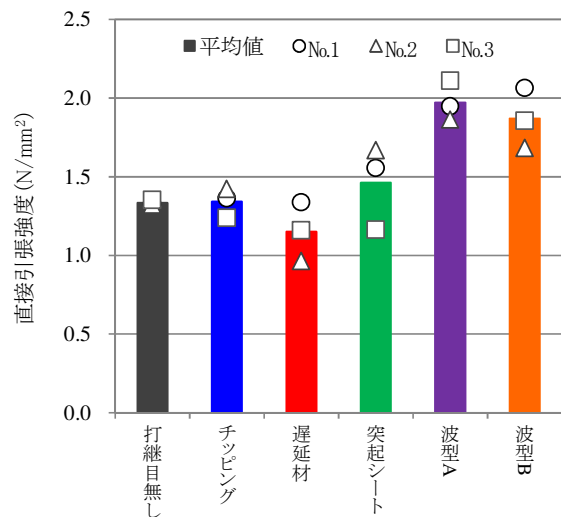


図-9 各種打継処理方法における直接引張強度

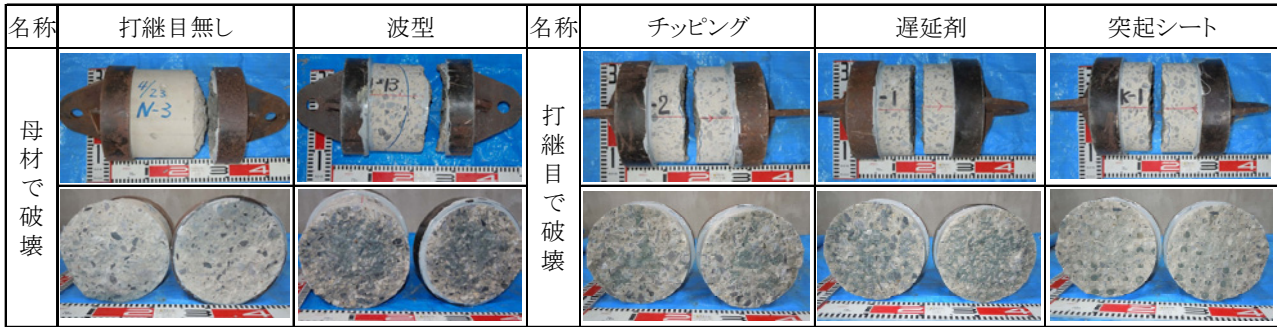


図-10 引張破壊形状

なった。特に、波型 A および波型 B における直接引張強度は、打継目無しと比較してそれぞれ 1.48 倍、1.40 倍となった。また、チップングおよび突起シートにおける直接引張強度が打継目無しと比較して同程度になった。この原因としては、凹凸を設けることで付着面積が大きくなり、打継目の付着性能が向上したためであると考えられる。ここで、波型において打継目無しよりも直接引張強度が大きくなっているが、これは、コアの採取位置による母材強度の違い、あるいは打込み方法による違い等が影響していると推察されるものの、明確な原因は不明である。

次に、波型において、波型 A および B の形状の違いによる直接引張強度は、大きな差異が認められなかったことから、本検討においては、コアの採取位置による波型形状の違いが直接引張強度に及ぼす影響は小さかったと考えられる。

遅延剤については、打継目無しと比較して 0.88 倍に留まり、あまり改善効果が得られなかった。この原因として、ハイウォッシャーの処理が不十分であり、打継目に遅延剤が残って硬化が不足した可能性が考えられる。したがって、遅延剤を使用して打継処理をする際には、この点に注意が必要であると言える。

図-10 に、引張破壊形状を示す。図-10 より、チップング、遅延剤および突起シートは打継目で破壊しているのに対し、波型は母材で破壊していることが分かる。すなわち、打継目で破壊しているものは、打継目において付着性能が不足しており、直接引張強度は打継目無しと比較して同程度、あるいは小さくなったと考えられる。一方で、母材で破壊しているものは、打継目における付着性能が確保されており、直接引張強度が打継目無しと同程度以上になったと推察される。

(2) 推定割裂引張強度

図-11 に、各種打継処理方法における推定割裂引張強度を示す。図-11 における圧縮強度は、打継目無しの圧縮強度結果を採用している。図-11 より、波型、チップングおよび突起シートにおける推定割裂引張強度は、打継目無しにおける割裂引張強度の実験値と同程度以上に

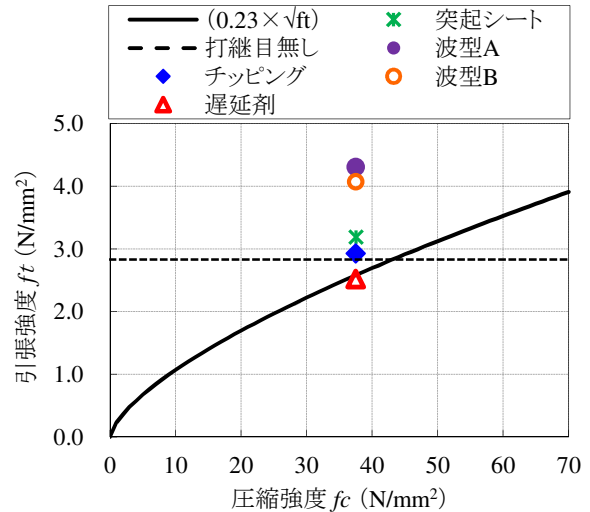


図-11 各種打継処理方法における推定割裂引張強度

なっている。したがって、これらの打継処理方法を用いることで力学的性能が向上すると考えられる。また、遅延剤においては、打継目無しにおける割裂引張強度の試験値よりもやや下回っているものの、式(2)を用いて得られる曲線に近い値を示しており、圧縮強度から算出される打継無しの割裂引張強度とは同程度であったと言える。すなわち、遅延剤においてもある程度の付着力は確保されており、打継目においてどの程度の引張強度を確保すべきかの評価基準により、適用可否が変わると考えられる。

3.3 超音波伝播速度

(1) コア採取高さ超音波伝播速度の関係

図-12、図-13 に一層目および二層目のコア採取高さ超音波伝播速度の関係を示す。ここでの超音波伝播速度は、打継目と水平方向に測定していることから、打継目の形状に影響されない値であり、大型試験体に打ち込んだコンクリート自体の品質を評価していると言える。図-12、図-13 より、一層目の超音波伝播速度は 3850 ~ 4250m/sec の範囲であったのに対し、二層目は 3950 ~ 4110m/sec の範囲であった。したがって、一層目はコンクリートの品質に多少ばらつきがあったものの、二層目

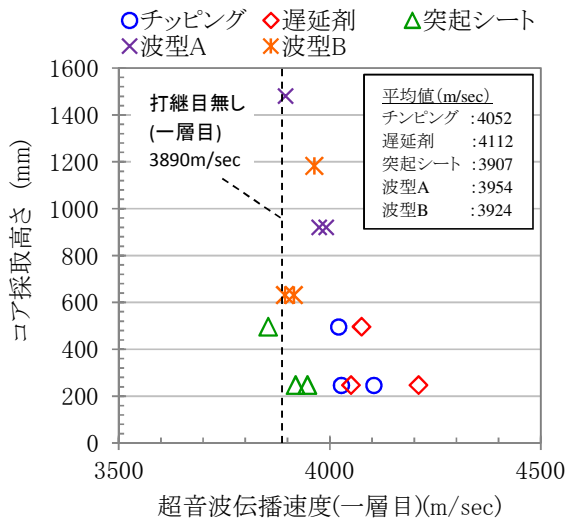


図-12 コア採取高さ と超音波伝播速度の関係 (一層目)

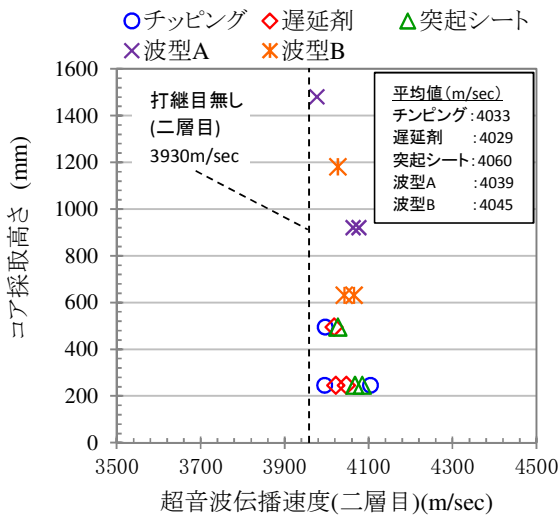


図-13 コア採取高さ と超音波伝播速度の関係 (二層目)

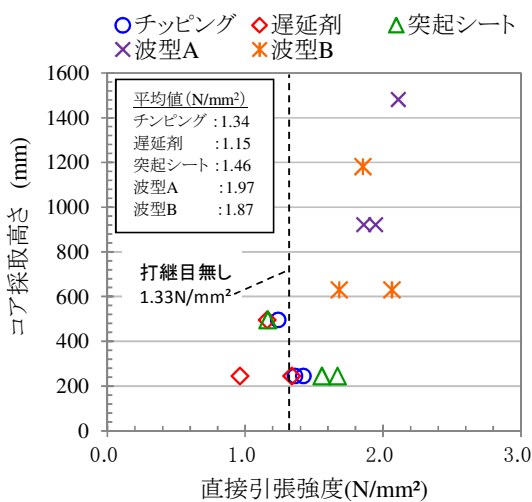


図-14 コア採取高さ と直接引張強度の関係

は試験体の高さによらず、比較的均質であったと推察される。

(2) 直接引張強度と超音波伝播速度の関係

図-14 にコア採取高さ と直接引張強度の関係を示す。打継目無しの直接引張強度は、一層目と二層目の平均値とした。図-12 において、例えば遅延剤に着目すると、超音波伝播速度の平均値は最大であり、圧縮強度等の品質が高かったと推察されるものの、図-14 において、直接引張強度の平均値は最小となった。したがって、直接引張強度に及ぼす影響は、超音波伝播速度の違い、すなわちコンクリートの品質のばらつきによる影響よりも、打継処理方法の違いによる影響が支配的であったと考えられる。

3.4 せん断強度

図-15 に、せん断応力と垂直応力の関係を示す。図-15 より、チップング、突起シート、波型Aおよび波型Bの純せん断応力 τ_0 は4.24 ~ 5.02N/mm²となり、打継目無しと比較してほぼ同等の結果が得られた。これは、表面の凹凸形状がせん断抵抗性の向上に有効であったため、打継目無しと同程度のせん断力を確保できたと考えられる。これに対し、遅延剤の純せん断強度 τ_0 は2.94N/mm²で、打継目無しの0.64倍と低い値を示した。以上のことから、チップング、突起シートおよび波型による打継処理方法は、付着性能の向上に有効であったと言える。

3.5 打継目の形状と力学的特性の関係

図-16 に、h/d と力学的性能の関係をそれぞれ示す。図-16 より、直接引張強度および純せん断強度とh/dとの

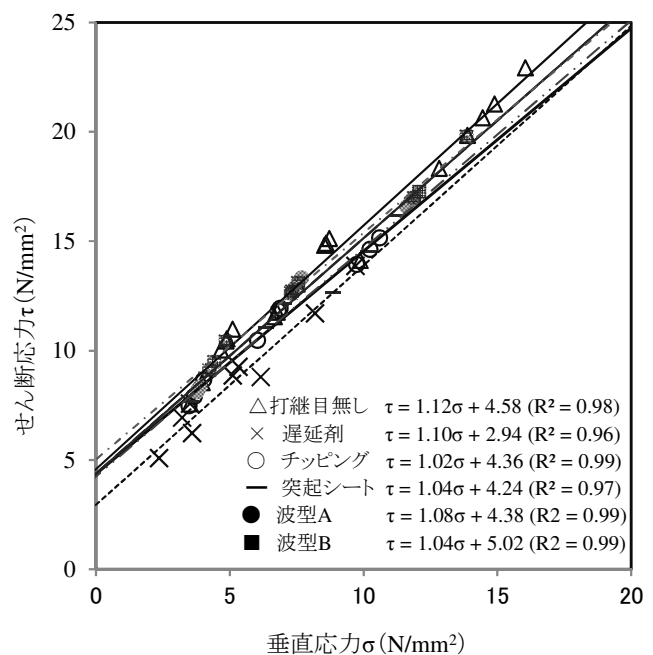


図-15 せん断強度と垂直応力の関係

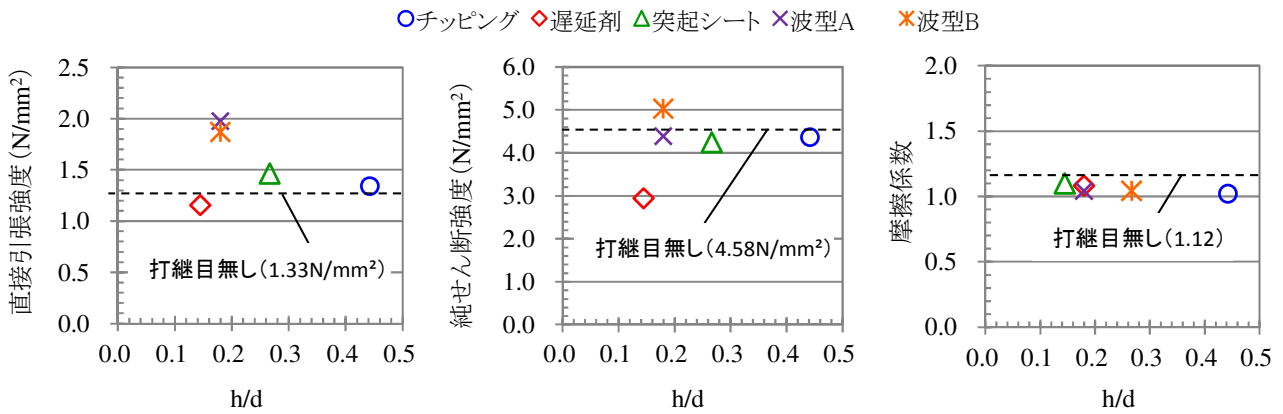


図-16 h/d と力学的性能の関係

間に明確な相関関係は認められないものの、 h/d が0.18～0.44の範囲において打継目無しと同程度以上の値となっていることが分かる。また、摩擦係数は h/d によらず打継目無しとほぼ同等の値を示した。以上のことから、本試験においては、 h/d が0.18～0.44の範囲において打継目における付着性能が確保されることが確認された。

4. 結論

本試験では、各種鉛直打継処理方法の違いが力学性能に与える影響を評価した。本検討の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 直接引張強度は打継目無しと比較した場合、チッピング、突起シートおよび波型において同程度以上となった。
- (2) チッピング、突起シートおよび波型の処理方法は、表面の凹凸形状がせん断抵抗性の向上に有効であり、打継無しと同程度のせん断強度を確保することができる。
- (3) 直接引張強度に及ぼす影響は、超音波伝播速度の違い、すなわち、コンクリートの品質のばらつきによる影響よりも、打継処理方法の違いによる影響が大きかった。

- (4) h/d が0.18～0.44の範囲において打継目における付着性能が確保されていた。

参考文献

- 1) 新村亮, 谷田部勝博, 桜井邦昭:各種鉛直打継処理方法の性能評価実験, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集, V-347, pp. 691-692, 2009.9
- 2) 後藤祐司, 長滝重義:コンクリート接合部のせん断耐力に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第254号, 1976.10
- 3) 松家武樹, 辻井修, 白山智, 大柳英之:コンクリートおよび鋼材と充填材の押抜きせん断挙動に及ぼすれ止めの影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 30, No. 3, pp. 787-792, 2008.6
- 4) 1例 えば, E. A. Whitehurst: Evaluation of concrete properties from sonic tests, ACI Monograph No. 2, ACI, 1966
- 5) 土木学会:コンクリート標準示方書「構造性能照査編」, p. 21, 2002.3
- 6) 鐵健司:品質管理のための統計的方法入門, pp. 54-56, 1983.8

The Influence of Different Vertical Construction Joint Methods on Mechanical Performance

Ayano EHARA, Yuji MURAKAMI, Satoshi KIMURA and Tatsuya HASHIMOTO

In order to clarify the influence of different vertical construction joints, created by different techniques such as chipping, retarder, using sheet with projections or wavy plywood form, direct tension and shear strength of various vertical construction joint methods were examined.

As direct tension strength of chipping, using sheet with projections or wavy plywood form, was better than the strength of concrete without the use of construction joint, these methods are effective for improving mechanical performance. Furthermore, shear strength denote the same tendency of direct tension. That is to say, in this case, these vertical construction joint methods are effective for ensuring better mechanical quality.