

# 論文 擁壁用のコンクリート製石張りプレキャスト部材の開発

河辺伸二\*1・岡島達雄\*2・小椋功\*3・松岡重吉\*4

**要旨：**今回開発した石張りプレキャスト部材は、従来の、石材を型枠の底に固定した後にコンクリートを流し込むPC板の製造方法を用いず、コンクリートを打設した後に打設面に石材を置く方式を採用した。そこで、打設方法の違い、スランプの大小、目地の有無等の条件を変えて供試体を作製し、引張試験とせん断試験から石とコンクリートの接着力について検討した。その結果、打設方法の違いに関しては、引張強度・せん断強度ともに下打ちのほうが上打ちよりも強度が大きい。本実験の範囲内のスランプの大・小、つら出の無・半分に関しては強度に対しほとんど影響を与えないことが分かった。  
**キーワード：**プレキャスト部材、コンクリート、石張り、接着力、サーモグラフィー法

## 1. はじめに

近年、景観が重視されるようになり、従来コンクリート素地面が表れていたプレキャストコンクリート部材の擁壁などに、石材等で化粧をすることが要求され始めてきた。

石張りプレキャスト部材は、石材とコンクリートの界面に発生する剥離を防止するために、石材の裏面にゴムアスファルトシートを貼ったり、珪砂をまぶして石材とコンクリートが互いに拘束しないようにしている。そして定着金物を使用して相互に緊結しているのが一般的である。

今回、砂防ダムや貯水池の擁壁用として、図-1に示す石張りプレキャスト部材を開発した。従来の、石材を型枠の底に固定した後にコンクリートを流し込むPC板の製造方式を用いず、コンクリートを打設した後、打設面に石材を置く方式を採用した。PC板方式は石材の目地込みや石材表面の清掃など製造に手間がかかるが、今回採用した方式は製造能率が大きく向上する。しかし、コンクリートのブリーディングや空気泡の巻き込みなどで石材裏面とコンクリートの界面に欠陥を生じる可能性がある。

そこで本研究では、打設方法の違い、スランプの大小、目地の有無、いじめの有無等の条件を変えて供試体を作製し、引張試験とせん断試験から、本方式の石張りプレキャスト部材における石とコンクリートの接着力を評価した。また、サーモグラフィー法と打診法を用いて、石材とコンクリート界面の内部空隙検出法について検討した。

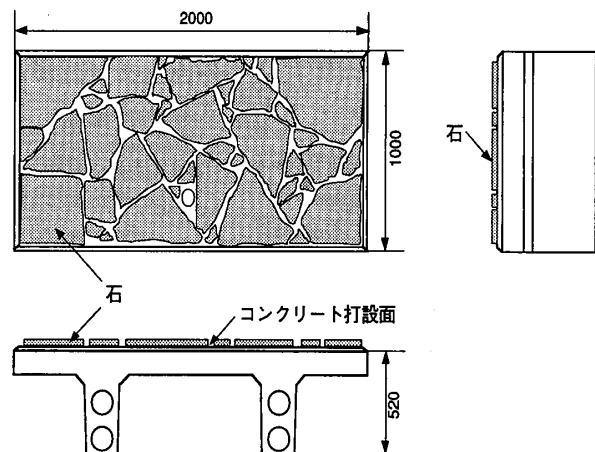


図-1 擁壁用のコンクリート製石張りプレキャスト部材

\*1 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科、工博（正会員）

\*2 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科、工博（正会員）

\*3 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻

\*4 松岡コンクリート工業（株）代表取締役社長

## 2. 石張りプレキャスト部材の開発

### 2.1 特徴

図-1に示す、今回開発した石張りプレキャスト部材の長所は、①コンクリート打設面に石材を置くため、目地詰めが必要がない。②出来上がりを確認しながら石材の割付ができる。③石材の表面の清掃を簡素化できる等である。また今回使用する石材は、建築用規格石材の端材と廃材を有効利用する。短所は、①コンクリートのブリーディングや石材の割付時の空気泡の巻き込みで、石材とコンクリートの界面に空隙が生じ、接着力の低下を招く恐れがある。

### 2.2 製造方法

製造方法を図-2に示す。型枠の底に石材を固定する方法を「下打ち」、今回採用する打設面に石材を置く方法を「上打ち」とする。上打ちは、製造工数が少なく型枠占有時間も短いため、製造の合理化が可能となる。

石材の大きさは100mm角から600mm角程度まで様々であり、厚さは30mmで一定である。端面は、切断面か叩き割った面である。石材裏面は切り出した状態とする。

コンクリートはスランプ11cmの普通コンクリートとし、混和剤は使用しない。製造時は振動を与え、打設後2時間蒸気養生を行い、その後脱型し気中養生する。今回開発する石張りプレキャスト部材の大きさは、1×2mを標準とし、重量は約1～2tである。

### 2.3 施工方法

図-3に施工方法の一例を示す。今回開発した石張りプレキャスト部材は、最大10mの高さまで直積みが可能である。鉄筋を挿入してプレキャスト部材背面にモルタルを流し込む工法が一般的である。施工例を写真-1に示す。

## 3. 実験方法

### 3.1 供試体の作製

石材とコンクリートの界面の引張強度およびせん断強度の接着力を測定するため、以下のように供試体を作製し、実験を行った。

#### 3.1.1 作製方法

供試体の作製には木製の型枠を用い、既存のPC板の作製方法と比較するため、上打ち、下打ちの2つの方法にて供試体を作る。実験内容を表-1に示す。

打設方法は上打ちと下打ちとする。

目地の深さは、石材のつらと同じ場合（以下つら

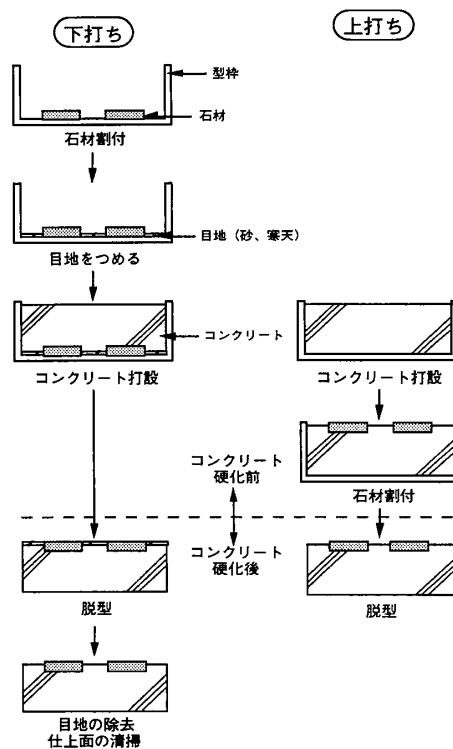


図-2 製造方法

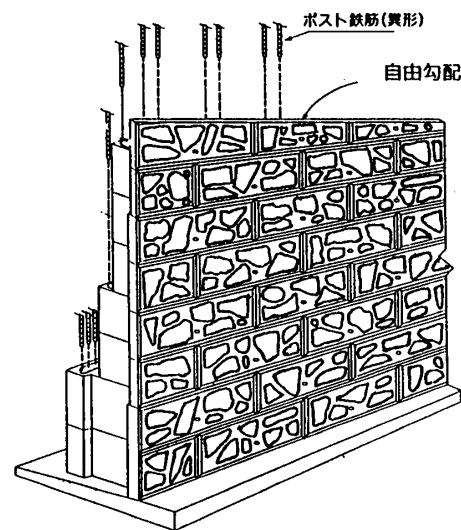


図-3 施工方法

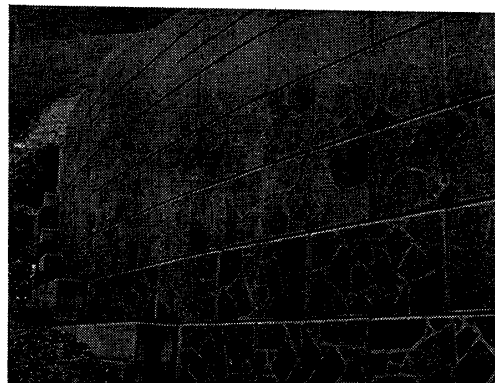


写真-1 施工例

出：無）と、石材の厚さの半分の深さまで目地を落とし込んだ場合（以下つら出：半分）の2種類作製する。今回、プレキャスト部材の製造プラントで用いられるコンクリートのスランブに合わせ、スランブは14cm（以下スランブ：大）と11cm（以下スランブ：小）の2種類とした。

また、現実の夏の壁面の温度が60℃ぐらいになるとの測定結果から、実際の暴露（経年変化）を想定して、乾燥器で60℃乾燥し、その後20℃の水中へ浸せきする乾燥・水中浸せき繰り返し（以下いじめ）を行った。乾燥と水中浸せきを1サイクルとして、30回行った。

### 3.1.2 供試体の形状・寸法

#### (1) 引張試験用の供試体

引張試験用の供試体は、図-4に示すように石材のつら出が無いものについては340×150×100mm、つら出が半分のものについては340×150×85mmの供試体を作製した。なお1つの供試体に対し3枚の石を使用し、石材のつら出が半分のものについては、発砲スチロール型枠を用いてコンクリートを打設し、石材のつらが均一になるようにした。

#### (2) せん断試験用の供試体

せん断試験用の供試体は、引張試験用の供試体と同様に作製した。

### 3.1.3 使用材料

#### (1) 石

材質は花こう岩とする。実際にプレキャスト部材に用いられる石の大きさは、50mm角、300mm角、450×600mm角など様々であり、端面も切断した石やたたき割った石など様々である。ただし、供試体には、60mm角に切断した石を用いる。厚さはプレキャスト部材同様30mmとする。石材裏面は切り出した状態と同じとし、仕上げは施さない。

#### (2) コンクリート

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材の物理的性質を表-2に、調合を表-3に示す。

### 3.1.4 コンクリートの打設

引張試験用・せん断試験用ともに、コンクリートの打設後、24時間で脱型し、以後3ヵ月間の気中養生を行った。なお、コンクリートの強度を表-4に示す。

## 3.2 実験方法

### 3.2.1 引張試験

引張強度の測定は、図-5に示す建研式接着力試験器を用いて次のように行った。

表-1 実験内容表

供試体番号	打設方法	スランブ	つら出	いじめ	試験方法
1	上	小	無	無	引張
2	上	小	無	無	せん断
3	上	小	無	30回	引張
4	上	小	無	30回	せん断
5	上	小	半分	無	引張
6	上	小	半分	無	せん断
7	上	小	半分	30回	引張
8	上	小	半分	30回	せん断
9	上	大	無	無	引張
10	上	大	無	無	せん断
11	上	大	無	30回	引張
12	上	大	無	30回	せん断
13	上	大	半分	無	引張
14	上	大	半分	無	せん断
15	上	大	半分	30回	引張
16	上	大	半分	30回	せん断
17	下	小	無	無	引張
18	下	小	無	無	せん断
19	下	小	無	30回	引張
20	下	小	無	30回	せん断
21	下	小	半分	無	引張
22	下	小	半分	無	せん断
23	下	小	半分	30回	引張
24	下	小	半分	30回	せん断
25	下	大	無	無	引張
26	下	大	無	無	せん断
27	下	大	無	30回	引張
28	下	大	無	30回	せん断
29	下	大	半分	無	引張
30	下	大	半分	無	せん断
31	下	大	半分	30回	引張
32	下	大	半分	30回	せん断

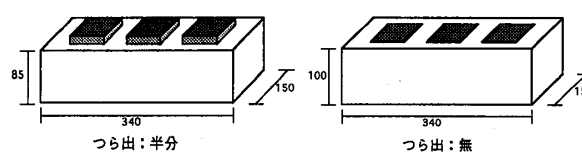


図-4 供試体の形状・寸法（単位：mm）

(1) 目地部分の接着力は考慮しないため、石と目地の界面に深さ30mmの切れ目を入れる。

(2) 試験日の2日前に石面と同一形状(60×60mm)のアタッチメントをエポキシ系接着剤で石材に接着し、養生する。

(3) 試験器により破断するまで荷重を加え、破断した値を読みとり、記録する。

### 3.2.2 セン断試験

せん断強度は、引張試験と同様に石と目地の界面に切れ目を入れた後、図-6に示す載荷用の治具を用い測定した。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 引張試験

引張試験の結果を図-7に示す。白点は引張試験を行った3つの値を、黒点はその平均値を表わす。次に、引張試験の条件別の結果を図-8に示す。上打ちが10kgf/cm<sup>2</sup>程度であるのに対して、下打ちは15~20kgf/cm<sup>2</sup>ある。これは上打ちは、石を配する際に石の界面に空隙が入りやすいことや、ブリーディングによってコンクリート表面に接着力の小さいレイタンスが沈積するためだと考えられる。しかし、今回開発した石張りプレキャスト部材の上打ちによる引張強度でも、一般にタイルの接着で安全とされている4kgf/cm<sup>2</sup>より大きな値<sup>1)</sup>である。

### 4.2 セン断試験

せん断試験の結果を図-9、条件別の結果を図-10に示す。せん断強度も引張強度と同様の傾向で、上打ちが20kgf/cm<sup>2</sup>前後であるのに対して、下打ちは40kgf/cm<sup>2</sup>弱程度となっている。また、各値とも引張強度の2~2.5倍程度の値になっている。

### 4.3 寄与率

図-11および図-12に、種々の条件が引張強度・せん断強度に対してどの程度寄与しているのかを示す。寄与率とは、各要素が強度に与える影響を表したものである。引張強度・せん断強度ともに、打設方法が強度に約80%寄与していることが分かる。すなわち、下打ちが強度に大きく影響を及ぼし、その他の条件はあまり強度に影響しないことが分かる。その他の要因は、コンクリートのつめ方、打設時または養生時の温度などが考えられる。

また、図-13に打設方法と変動係数の関係を示す。上打ちは変動係数が大きく、強度のばらつきが多い。逆に、下打ちは変動係数が小さく、強度のばらつきが小さいといえる。

図-14に引張強度とせん断強度の関係を示す。引張強度が大きい程、せん断強度も大きくなり、上打ちより下打ちのほうが値が大きいことが分かる。

表-2 骨材の物理的性質

	最大寸法 (mm)	比重		吸水率 (%)	粗粒率 (%)	単位容積質量 (kg/ℓ)
		絶乾	表乾			
細骨材	5	2.54	2.58	1.79	2.33	1.52
粗骨材	25	2.55	2.60	1.69	7.42	1.62

表-3 コンクリートの調合

スランブ	粗骨材最大の寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
小 (11cm)	25	48.0	42.4	2.0	162	338	796	1091
大 (14cm)	25	50.0	42.3	1.7	169	338	787	1081

表-4 コンクリートの強度

	養生方法	スランブ	
		小	大
1ヵ月強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	水中養生	424	368
3ヵ月強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	現場養生	388	308

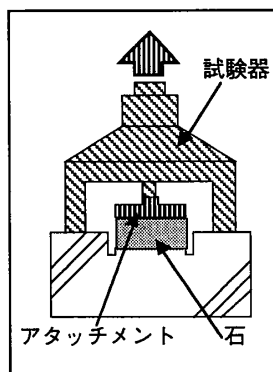


図-5 引張試験

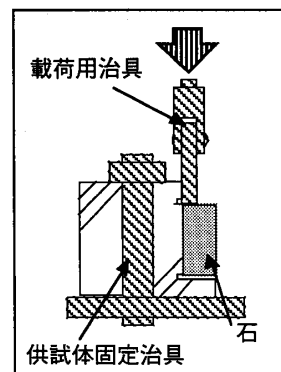


図-6 セン断試験

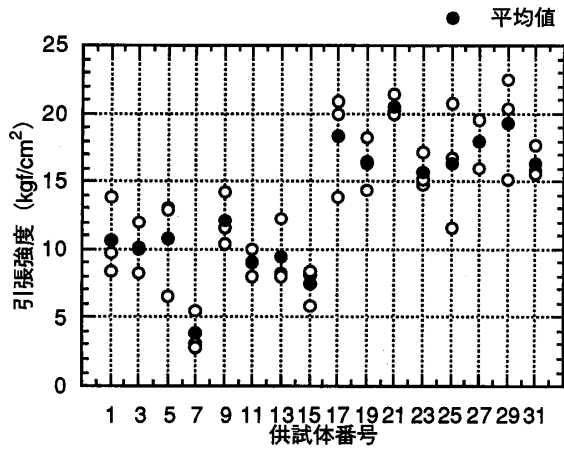


図-7 引張試験の結果

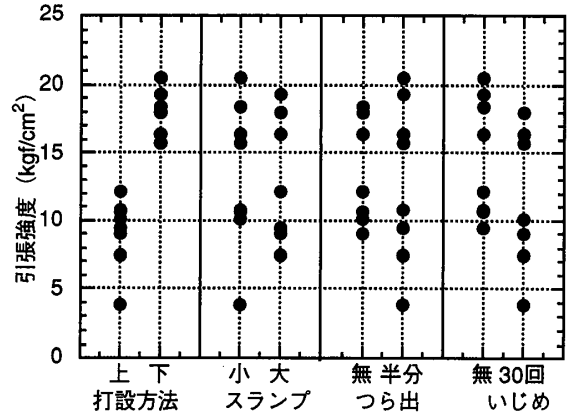


図-8 引張試験の条件別の結果

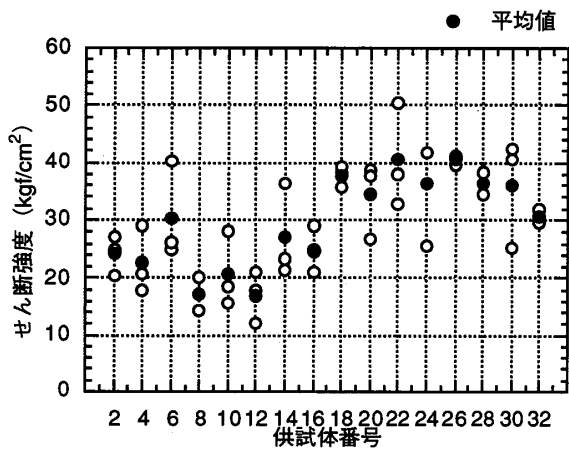


図-9 せん断試験の結果

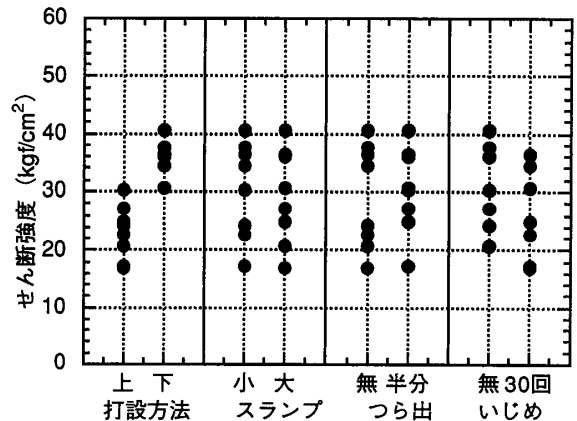


図-10 せん断試験の条件別の結果

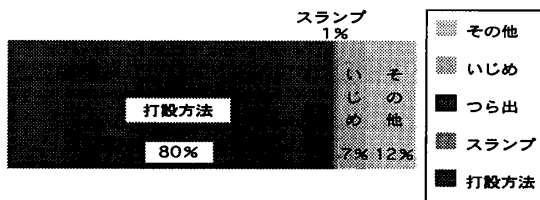


図-11 寄与率 (引張強度)

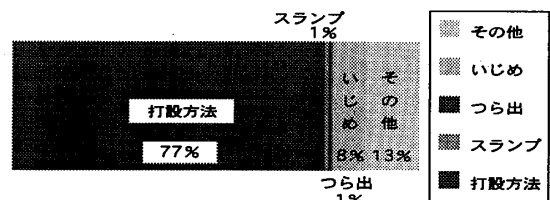


図-12 寄与率 (せん断強度)

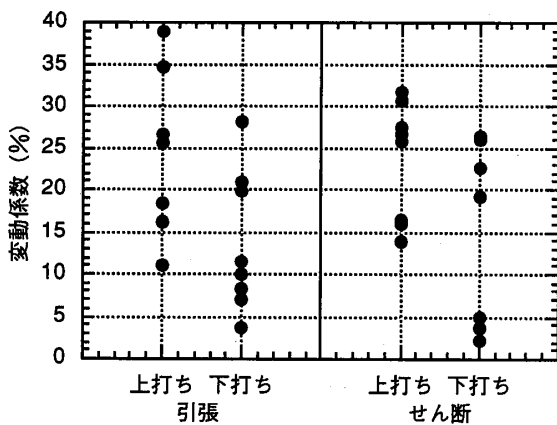


図-13 打設方法と変動係数の関係

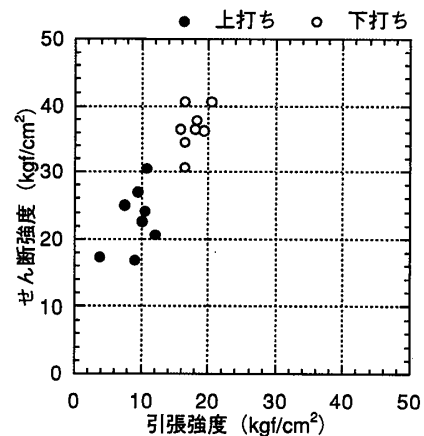


図-14 引張強度とせん断強度の関係

## 5. 内部空隙検出法

### 5.1 サーモグラフィー法

今回サーモグラフィー法による内部空隙検出の可能性を検討するために、あらかじめ石材とコンクリート界面に空隙を入れた石張りプレキャスト供試体を作製した。仮想の空隙に、厚さ1mmと5mmで大きさ10mm角、30mm角、50mm角のスチレンボードを使用した。大きさの違う大小の石材の中央部と隅角部にそれぞれ仮想空隙を入れ、供試体を南側に向けて直射日光を当てながら、サーモグラフィーで温度分布を測定した。写真-2に測定画像を示す。50mm角の仮想空隙は、厚さ1mmと5mmの区別なく判別できた。10mm角と30mm角の仮想空隙は、はっきりと空隙の箇所を指摘するのは困難であった。石材の厚さが30mmと厚いため、大きさの小さい空隙は検出の可能性が少ない様である。

### 5.2 打診法

打診法とは、ハンマーで叩き音が変わる所を空隙と判断する方法である。あらかじめ空隙を入れた石張りプレキャスト供試体を打診法で調査すると、サーモグラフィー法による検出方法に比べ、大きさの小さい空隙まで確認することができた。

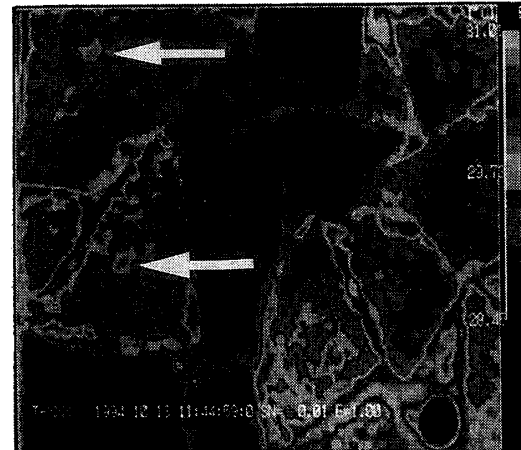


写真-2 測定画像

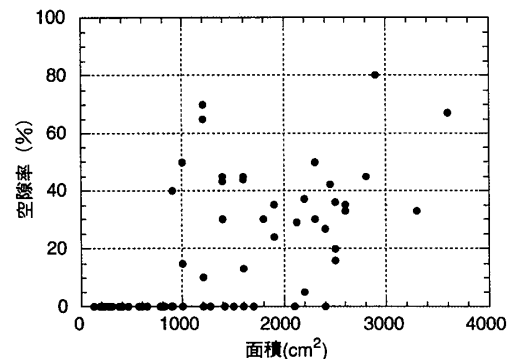


図-15 石の面積とコンクリート界面との空隙率の関係

## 6. 1年暴露擁壁の内部空隙調査

1年暴露擁壁の石とコンクリート界面の内部空隙を打診法で調査した。図-15に、石の面積とコンクリート界面との空隙率の関係を示す。石が大きくなるほど、界面の空隙率が高くなる傾向にある。1000cm<sup>2</sup>以下では空隙はないが、1000cm<sup>2</sup>を超えると空隙のある石が増えてくる。また、石材の引張試験を行った。打診法による健全部の引張強度は、4kgf/cm<sup>2</sup>前後であった。引張試験後のコンクリートの界面を観察すると、最大で直径5mm程度、平均2mm程度の微細な空隙が入っていた。なお、打診法による界面の空隙部の引張強度はほとんど0であった。

## 7. 結論

- 1) 石材の上打ち製造方法による、擁壁用の石張りコンクリートプレキャスト部材を開発した。
- 2) 打設方法に関しては、引張強度・せん断強度ともに、下打ちが上打ちよりも強度が大きい。
- 3) スランプの大・小、つら出の無・半分に関しては強度に対しほとんど影響を与えない。
- 4) 乾燥・水中浸せき繰り返しは強度に多少の影響を及ぼすが、打設方法ほどではない。
- 5) 石材が厚いため、界面の内部空隙検出法にはサーモグラフィー法より打診法が良い。
- 6) 上打ち製造方法による石材とコンクリートの引張強度は4kgf/cm<sup>2</sup>前後であった。

今後は上打ちの製造方法による石材とコンクリートの引張強度の向上方法を検討したい。