

プレキャストコンクリートブロックの海中接合に関する力学特性の研究

Study on Mechanical Properties of Submarine Joints between Precast Concrete Blocks

栗原安男*・跡部俊郎*・木田哲量**

Yasuo. Kurihara, Toshiro. Atobe and Tetukazu. Kida

In response to rapid constructions for marine structures, the authors have conducted structural reserches on composite prestressed concrete structures, which consist of precast concrete blocks and filled-in concrete and steel pipe pile. Connections between precast concrete blocks of this method are bonded by epoxy resin of underwater-setting. To verify the reliability of the joints, a bending test was executed on specimens which were actually undersea. As long as the connection work is completed within 90 minutes of the application of adhesive, either in the air or underwater, the analysis of the test results shows that the bending and tensile strength of the joint can maintain values of 0.8 times and 1.5 times more, respectively than those specified in the Standard Specification for Design and Construction of Concrete Structures by the JSCE.

[Keywords] Precast Concrete, Submarine Joints, Epoxy Resin

1. はじめに

近年、海洋構造物を構築する技術は急速施工を求め、プレハブ化する傾向にある。また、従来のメーソンリー構造に代わり骨組構造を主体とした柔構造が求められてきた。その中でプレキャストコンクリートブロック（以下、プレキャストブロックと称す）と鋼管杭をシステムチックに組み合わせて合成構造物を築造する工法にP B S工法（Piles and Blocks Structure Method）がある。

この工法は、海中に打設した鋼管杭の外側にあらかじめ陸上で製作したプレキャストブロック（柱および梁ブロック）を順次積み上げた後、P C鋼棒により鋼管に沿う方向にプレストレスを導入して一体とし、海中にラーメン構造体を構築するものである。この工法に用いるプレキャストブロックの接合面には台船上で水中硬化型接着剤を塗布し、海水中で接着を行いブロック間の連続性を保っている。

本合成構造のプレキャストブロックの接合部はこの水中硬化型接着剤の塗布により、連続したコンクリートと同程度の引張強度が期待できるものと評価している。

このことは、既往の実験^{1)・2)}でも確認されているが、いずれの場合もプレキャストブロックは大気中で接着しており、実施工とは異なった条件になっている。

実施工では、海上の台船上でプレキャストブロックの下面に接着剤を塗布し、クレーン船によって海中にプレキャストブロックを吊り下ろしてゆき、所定の位置にセットする手順となるため、プレキャストブロックの接合は海中接着となる。

本研究では、施工条件を考慮した接着までの大気中および海水中での放置時間をパラメータとした試験体に対して曲げ強度試験を行い、水中硬化型接着剤を使用したプレキャストブロック接合部の力学特性を明らかにしたものである。³⁾

2. 実験の方法

コンクリートは設計基準強度 $f'_{ck} = 350\text{kgf/cm}^2$ を目標に配合を決定した。なお、粗骨材の最大寸法は20mmとし、セメントは早強ポルトランドセメントを用いた。表-1に試験体に用いたコンクリートの配合を示す。

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材の最大寸法 Gmax (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	水 W (kg/m ³)	セメント C (kg/m ³)	細骨材 S (kg/m ³)	粗骨材 G (kg/m ³)	混和剤 (g/m ³)
20	43.8	38.0	175	400	650	1076	1000

* 正会員 三井建設株式会社 土木本部 土木設計部

** 正会員 日本大学生産工学部 土木工学科 教授

接着剤は圧縮強度400kgf/cm²以上、可使時間60分以上、接着可能時間2時間程度および塗膜硬化時間40時間程度を満足する市販の水中硬化型エポキシ樹脂を選定し、実験に使用した。

なお、実験に用いた接着剤はエポキシ樹脂を主剤としたペースト状の2液混合タイプで、配合比1:1、比重1.45のトーホーダイトSX-177である。

試験体のパラメータを表-2に示す。パラメータは実施工条件を考慮して、接着剤塗布後の大気中・海水中における放置時間および接着圧とした。

すなわち、大気中放置時間10分は正常な状態で台船上からブロックを海水中に吊り下ろす時間であり、海水中放置時間30分は、何のトラブルも無く海中作業を行う時間である。なお、試験体はパラメータごとに3体作製した。

また、表-2に示す試験体の記号は海水中放置時間の長いものをWとして先頭に、中間のものは接着圧によりL、M、Hと分けた。同様にして大気中時間の長いものをAとし、接着圧は海水中と同様の記号を用いた。

試験体は図-1に示すように、10×10×40cmの型枠中央に仕切り板を設けてコンクリートを打設し、材令3日で脱型を行い、同じ型枠の2片を1試験体とした。

試験体の接着方法は図-2に示すように、試験体の片方の接着面に大気中で接着剤を塗布し、表-2に示す放置時間を経過した後海中で接着を行なった。なお、接着時期はコンクリートの材令が4日に達した時とし、加圧時間は72時間とした。

表-2 試験体パラメータ

試験体NO.	気中放置時間(分)	海中放置時間(分)	接着圧(kgf/cm ²)	加圧時間(時間)
WL1	10	30	1.0	72
WL2		60		
WL3		120		
WM1		30	3.0	
WM2		60		
WH3		120		
AL1	30	30	1.0	72
AL2	60			
AL3	120			
AH1	30		10.0	
SL1	0	—	1.0	72
PLN	継ぎ目なしコンクリート			

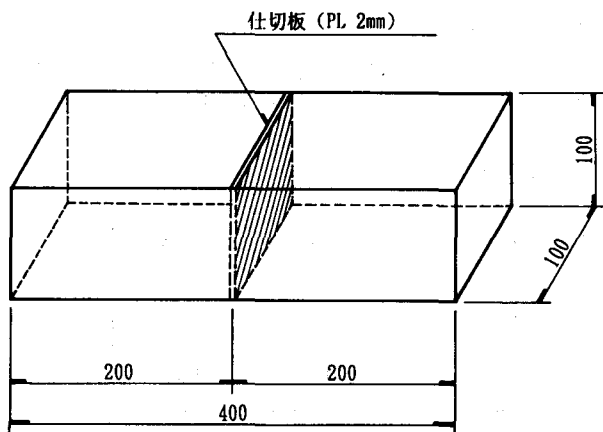


図-1 試験体の製作方法 (単位: mm)

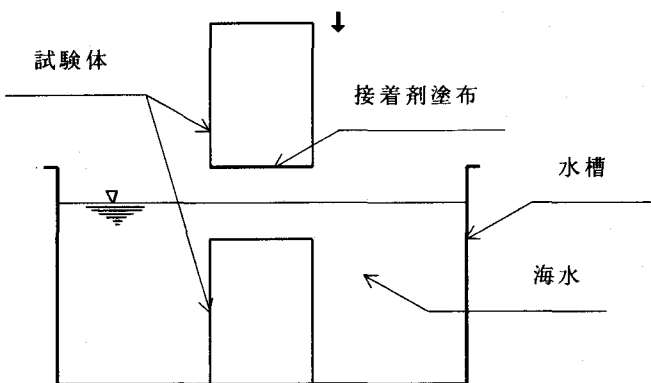


図-2 試験体の接着方法の概念図

3. 実験結果の考察

3.1 曲げ強度

試験体の曲げ試験は、コンクリートの曲げ強度試験 (JIS A 1106) に準拠して行なった。曲げ試験時のコンクリート材令は7日であり、コンクリート圧縮強度は平均 $f'_c = 407\text{kgf/cm}^2$ であった。

曲げ試験結果の一覧を表-3に示す。表中の σ は各試験体の曲げ強度であり、 σ_0 は各試験体3体の曲げ強度の平均値である。また、()内は $\sigma/\text{PLN}\sigma_0$ の範囲を示す。

表からも分かるように、継ぎ目なしコンクリート (PLN) 3体の曲げ強度の平均を100%とすると、接着面を有する試験体の曲げ強度は59%~100%とかなりのバラツキがある。

SL1は気中接合であり、他の海中接合よりPLNに対する曲げ強度の比率が高く、唯一PLNと同等の耐力を示した試験体があった。接着時間をパラメータとした試験体の比較では、気中放置時間と海中放置時間の差による曲げ強度の違いは明確に現れなかったが、接着までの放置時間が130分~150分の試験体は、90分以内の試験体に比べ曲げ強度が低い傾向にある。なお、90分以内の試験体の大部分はPLN試験体の70%以上の曲げ強度を示した。また、接着圧力が 10kgf/cm^2 の試験体と、接着圧力が 1kgf/cm^2 、 3kgf/cm^2 の試験体を比較すると顕著な差は見られない。なお、本合成構造体の施工条件下での接着圧は、プレキャストブロックの海水中的の自重による接着圧力であり、施工規模から想定すると約 1kgf/cm^2 となる。

試験体別の曲げ強度を一元化して見れるように、各試験体の曲げ強度とコンクリートの圧縮強度の比を縦軸にとり、無次元化して表現したものを図-3に示す。ただし、横軸は試験体の番号であり、3本の試験体の総てについて表現した。

なお、曲げ強度 f_{bk} 、引張強度 f_{tk} は試験体コンクリートの圧縮強度をもとに式(1)、式(2)で算定した値である。⁴⁾

$$f_{bk} = 0.9 f'_c k^{2/3} \quad (1)$$

$$f_{tk} = 0.5 f'_c k^{2/3} \quad (2)$$

図-3からも分かるように、接着放置時間90分以内と接着可能時間120分を越えた試験体では曲げ強度の差が現れている。

全試験体のうち、曲げ強度の下限値は 34kgf/cm^2 、上限値は 56kgf/cm^2 であった。また、放置時間の合計が90分

表-3 曲げ試験結果 (単位: kgf/cm^2)

シリーズ 1			シリーズ 2			シリーズ 3		
名称	σ	σ_0	名称	σ	σ_0	名称	σ	σ_0
			S	49		W	41	
			L	53	50	M	43	41
			1	47	(89~100%)	1	38	(66~74%)
W	40		A	49		W	56	
L	42	43	L	45	47	M	56	54
1	47	(69~81%)	1	48	(85~92%)	2	50	(86~97%)
W	46		A	52		A	48	
L	45	48	L	49	49	H	48	48
2	52	(79~90%)	2	45	(85~98%)	1	49	(81~83%)
W	42		A	37		W	40	
L	37	38	L	38	36	H	46	43
3	34	(59~72%)	3	34	(64~72%)	3	44	(69~79%)
P	54		P	52		P	55	
L	60	58	L	55	53	L	57	58
N	61	100%	N	51	100%	N	61	100%

以内の試験体の下限値および上限値はそれぞれ38kgf/cm²、56kgf/cm²であった。

図-3に示すように、PLN試験体の曲げ強度は、全ての試験体が $f_{b,k}$ 以上の結果を得た。これに対して接合部を有する試験体では $f_{b,k}$ を満足する試験体は1/4程度であったが、総ての試験体は $f_{t,k}$ 以上の値を得た。なお、接着可能時間以内で接合した試験体では約半数が $f_{b,k}$ を満足しており、下限値は式(1)および式(2)で求めた曲げ強度 $f_{b,k}$ の0.8倍であり、引張強度 $f_{t,k}$ の約1.5倍であった。

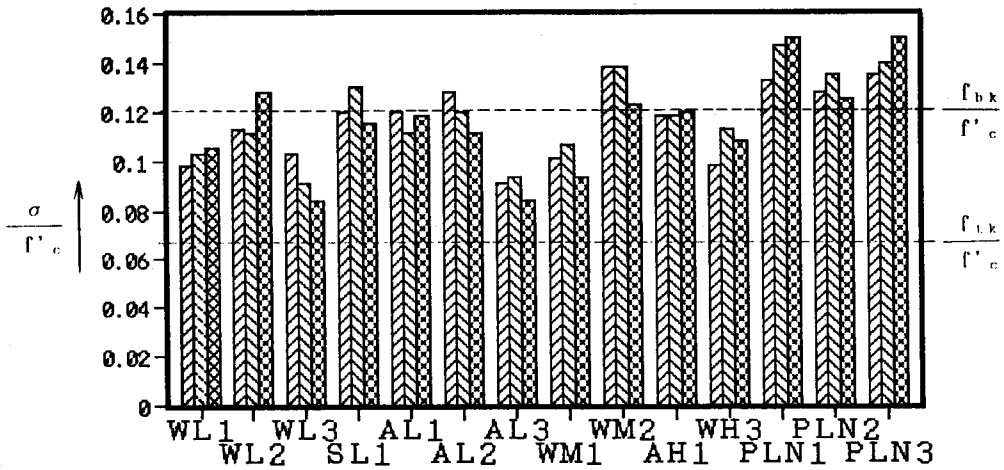


図-3 各試験体の曲げ強度と圧縮強度との関係

3.2 破壊状態

表-4に曲げ破壊断面の破壊状態を示す。また、破壊状態の分類を下記に示す。⁵⁾

ここに、A：母材破壊（母材コンクリート部分の破壊）

B：表層破壊（表面のセメントペースト部分での破壊）

C：部分はくり破壊（接着不足によるはくりと表層破壊が混じった現象）

である。表に示すように、表層破壊（B）が大部分であり、部分はくり（C）も若干見られるが、破壊状態BとCでは曲げ強度に対し余り差がなかった。このことは、部分はくり破壊であっても接着力不足によるはくり部分が僅かだったためと思われる。

表-4 破壊断面状態

シリーズ 1			シリーズ 2			シリーズ 3		
名称	σ	破壊状態	名称	σ	破壊状態	名称	σ	破壊状態
			S	49	A	W	41	B
			L	53	B	M	43	C(一部B)
			1	47	B	1	38	B
W	40	B	A	49	B	W	56	B(一部C)
L	42	B	L	45	B	M	56	B(一部C)
1	47	B	1	48	B	2	50	B
W	46	B	A	52	B	A	48	B(一部C)
L	45	B	L	49	B	H	48	B
2	52	B	2	45	B	1	49	B(一部C)
W	42	B	A	37	B	W	40	B
L	37	B	L	38	B	H	46	B
3	34	B	3	34	B	3	44	B
P	54	A	P	52	A	P	55	A
L	60	A	L	55	A	L	57	A
N	61	A	N	51	A	N	61	A

(注) σ ：曲げ強度、単位はkgf/cm²である。

3.3 海水分析

接着環境に用いた海水は、千葉県九十九里海岸銚子地区の岸壁から採取したものである。海水の分析結果を表-5に示す。

表-5 海水分析試験結果

試験項目	試験結果
比重	1.025
懸濁物質の量 (SS)	51.58 (g/l)
塩分	1.862%

4. まとめ

実験結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 接着圧力の違いに対する曲げ強度の顕著な差はないと言える。
- 2) 放置時間90分以内の試験体の曲げ強度は、継ぎ目無しコンクリート (PLN) よりおおむね小さくなる傾向であったが、約半数が曲げ強度 f_{bk} 以上であった。
- 3) 放置時間90分以内の試験体の最小値は、コンクリートの圧縮強度から算定した曲げ強度 f_{bk} の0.8倍、引張強度 f_{tk} の1.5倍以上の値を示した。
- 4) 破壊状態は表層破壊が大部分であり、このことが継ぎ目なしコンクリートの曲げ強度比より若干低い値を示したものである。今後、接着面のモルタル部分を除去する処理方法等を検討すれば、母材破壊現象とすることが可能であり、曲げ強度の向上が図れるものと推察できる。

[参考文献]

- 1) 栗原安男、跡部俊郎、能町純雄：プレストレスを導入したプレキャストブロックと鋼管との合成構造に関する力学特性の研究、コンクリート工学論文集、第2巻第1号、pp15~24、1991年1月
- 2) 栗原安男、跡部俊郎、能町純雄：プレストレスを導入したプレキャスト中空SRC柱とRC梁接合部の力学特性の研究、コンクリート工学論文集、第3巻第1号、pp77~85、1992年1月
- 3) 栗原安男、跡部俊郎、米倉宏行：プレキャストコンクリートブロックの水中接合に関する実験的研究、土木学会第47回年次学術講演会、pp948~949、平成3年9月
- 4) 土木学会：コンクリート標準示方書、設計編、pp18~20、平成3年9月
- 5) プレストレスコンクリート技術協会：PCブロック工法研究会研究報告書(その1) pp22~35、昭和42年7月