

論文

[1202] CFRPストランドを用いた海洋プレキャスト構造物の接合方法に関する研究

正会員 〇出光 隆 (九州工業大学工学部)

正会員 原田哲夫 (長崎大学工学部)

藤田 源 (九州工業大学大学院)

正会員 渡辺 明 (九州工業大学工学部)

1. まえがき

陸上工事に比べて気象作用の影響を大きく受ける海洋構造物の工事は、短時間に安全かつ迅速に進められなければならない。短期決戦型のプレキャストブロック工法が用いられて初めている。しかしながら、中小の港で保有しているクレーンの能力は限られており、小割りしたブロックを海中で接合する技術が開発されれば、手持ちの100~200tfクラスのクレーンを用いて手軽な施工が可能となり、トータルの工費軽減を図ることができる。さらに、その工法を長大海洋構造物にも適用できる可能性がある。

海洋構造物を海中で組み立てるには、耐力はもちろん耐久的な接合方法が開発されなければならない。そこで、筆者らはCFRPストランドを静的破砕剤で定着してプレキャストブロックを接合する耐力・耐久接合法を考案し、定着方法に関する基礎実験、モデル供試体による接合部のせん断試験等を実施した。

2. 消波防波堤のプレキャスト化

上記の理由から、運輸省第四港湾建設局では、図-1に示す消波防波堤のプレキャストブロック施工に関する研究が進められている。¹⁾ 筆者らも同研究に参加し、図-2に示すブロック割り案を作成し、設計・施工方法を検討している。堤体は底盤を1ブロック、スリット部、セルラー部をそれぞれ2ブロック、計5ブロックに分割される。各ブロックは目地材(硬質ゴム、モルタル、コンクリート等)を介し、ジョイント材(CFRPストランド、高力ボルト、PC鋼材等)で接合され一体化される。目地材には、迅速施工を要する場合は硬質ゴムを、養生期間をとれる場合はモルタル、コンクリート等をそれぞれ使用する。施工性を考慮すれば、水平目地には硬質ゴムを、鉛直目地には特殊水中モルタル・コンクリートを用いるのが適当と考えられる。また、鋼製のジョイント材を用いる場合は何等かの防食処置が必要である。

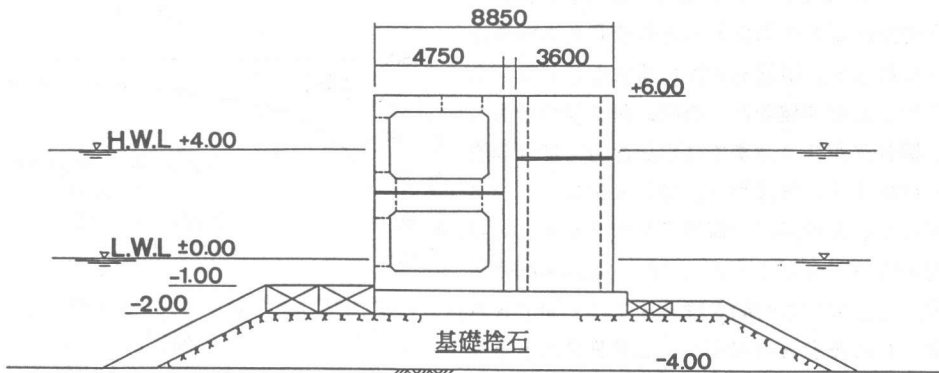


図-1 消波防波堤概略図

3. 静的破碎剤を用いた定着方法とプレキ

キャストブロック接合方法

CFRPストランドの定着方法の概略を図-3に示す。長さ10~20cmの鋼管(またはCFRP管)中にCFRPストランド端を挿入し、その回りに破碎剤グラウトを注入するだけで高い膨張圧が生じ、鋼管をストランド端に固定することができる。膨張圧は液圧的に作用するから²⁾応力集中が少なく、ソフトタッチで確実な定着が可能である。その上、従来の方法に比べ施工が容易でかつ極めて安価である。

静的破碎剤による膨張圧発現の例を図-4

(a)(b)に示す。管内の膨張圧は、12時間後に約300kg/cm²(図a)、2カ月間には1200kg/cm²以上に達し(図b)、以後もわずかずつ増加し減少の傾向はみられない。長年月を経ても定着に必要な膨張圧は十分確保されるものと考えられる。なお、膨張圧の発現速度・最大値等は、静的破碎剤の成分、水破碎剤比等を変えることにより自由に変化させることができる。

定着部の引抜き耐力を求めるため、引抜き試験を実施した。用いたCFRPストランド(φ12.5mm)の力学的性質を表-1に示す。鋼管には外径34mm、内径24.8mmのものを用いた。試験では鋼管長を10、20および30cm、破碎剤による膨張圧を143、297および496kg/cm²とそれぞれ変化させた。(ただし30cmは膨張圧496kg/cm²の場合のみ)

各膨張圧ごとの引抜き力と鋼管長との関係を図-5に示す。破壊形式はいずれもCFRPストランドと静的破碎剤との間の付着破壊であった。鋼管長が30cmまでは引抜き力はほぼ鋼管長に比例する。同図から、CFRPストランドの緊張力と定着長さ(鋼管長)が与えられれば、必要膨張圧が分かり、さらに図-4から膨張圧発現までに要する時間を推定することができる。

図-6に筆者らの提案するCFRPストランドを用いる接合方法を示す。施工手順は以下の通りである。

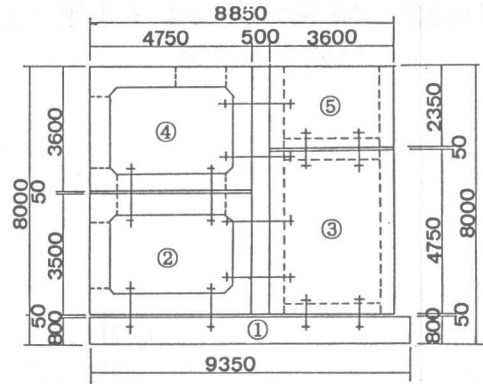


図-2 防波堤ブロック割り

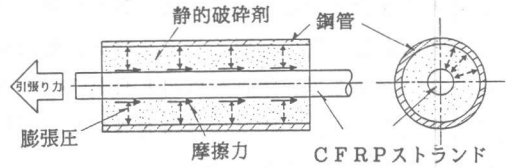


図-3 CFRPストランド定着方法

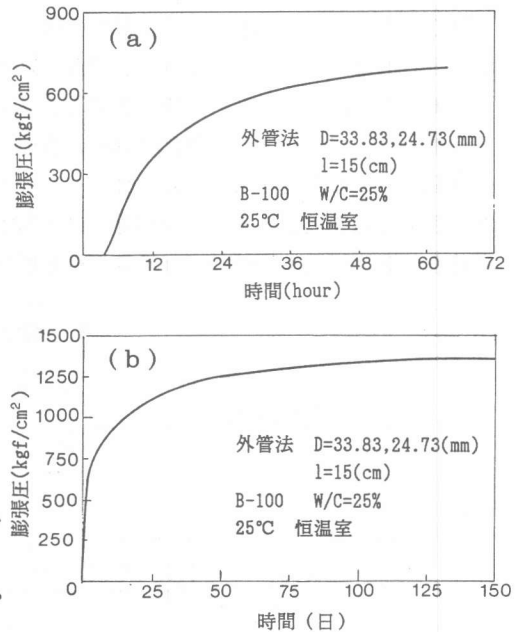


図-4 膨張圧の経時変化

- ① ストランドの上端にあらかじめ前記の方法で鋼管を定着しておく。
- ② 下側ブロックにあけられた孔中にストランドを挿入。孔中には製作時に膨張圧拘束用管を埋設しておく。
- ③ ①の部分に静的破砕剤を詰める。
- ④ 膨張圧発現によりストランドが定着された後、ジャッキでストランドを緊張する。膨張圧発現に長時間を要する時は仮り定着しておく。
- ⑤ ④部分に静的破砕剤を詰める。
- ⑥ ④部分の定着部完成後、上側ブロック上面でストランドをカットする。

4. 接合部のせん断試験

ブロック防波堤では、波力に対する水平目的地のせん断耐力の確保が重要となる。そこで、筆者らは接合部の目地材に硬質ゴム、ブロック間をつなぐジョイント材にCFRPストランドをそれぞれ使ってモデル供試体を作製し、接合部のせん断特性を検討した。比較のためPC鋼材を用いた供試体についても実験を行った。なお、膨張圧拘束用管には入手しやすい鋼管を用いた。

4.1 実験方法

実験条件の一覧を表-2に、また、供試体の形状・寸法および載荷試験状況等を図-7にそれぞれ示す。せん断試験は2面せん断で実施した。供試体の作製方法は以下の通りである。まず予め鋼管を埋めて孔をあけた3個のコンクリートブロック(30cm立方体)を、2箇所の目地を介して1列に並べる。次いで、CFRPストランドの場合は前記の方法で、PC鋼材の場合は通常の方法でそれぞれ軸力を与えてそれらを一体化させる。防波堤の完成系での有限要素解析によると、波圧作用時に目地材に作用する最大圧縮応力は10kgf/cm²程度であるため、軸力の値を9tfとした。³⁾ジョイント材のほそ作用の有無を調べる目的で、シース内にグラウトを注入しないアンボンド供試体についても実験を行った。(ただし、CFRPストランドでは硬質ゴム目地部分のみアンボンド) 測定項目は接合部分のせん断力による相対変位量、コンクリートのひずみ、PC鋼棒のひずみ等で、変位計およびストレンゲージを用いて同図に示す要領で測定した。載荷試験は破砕剤またはグラウト注入後2日目に実施した。その際、各材料の圧縮強度は、それぞれ本体コンクリート550~580kgf/cm²、無収縮グラウト(W/C=40%)340~370kgf/cm²であった。また、硬質ゴ

表-1 CFRPストランド(φ12.5mm)の力学的特性

保証破断荷重(kgf)	14,000
弾性係数(kgf/mm ²)	14,000
切断伸び(%)	1.6
比重	1.5
リラクゼーション(%)	0.65
クリープ(%)	0.03
線膨張係数(×10 ⁻⁶ /°C)	2以下

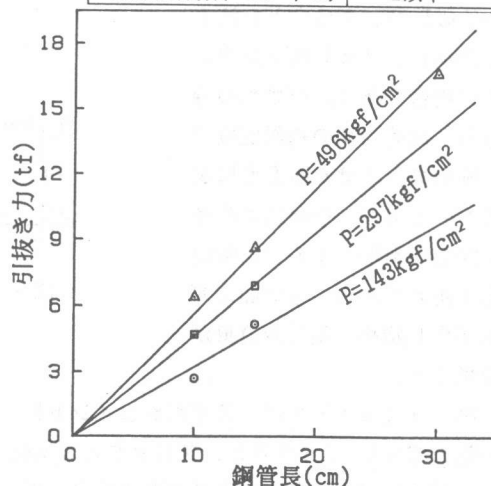


図-5 引き抜き力と鋼管長の関係

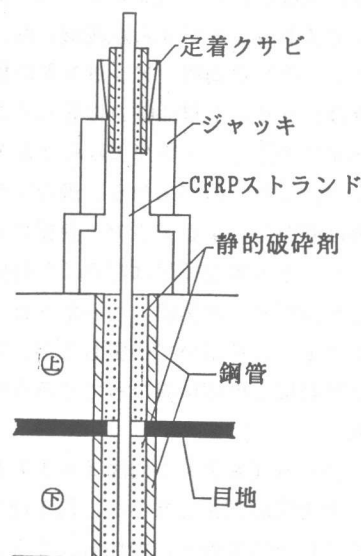


図-6 CFRPストランド接合方法

ムの弾性係数は600~1000kgf/cm²であった。

4.2 実験結果および考察

図-8、9にそれぞれCFRPストランドおよびPC鋼棒を用いた場合の荷重とせん断力による相対変位量の関係を示す。(a)は孔全体に静的破碎剤、グラウトを注入した場合、(b)はアンボンドの場合である。いずれの場合も、荷重当初の相対変位量は硬質ゴムのせん断変形によるものであり、荷重によるせん断力が摩擦によるせん断耐力を越えてから、接合面にずれが生じ始め、相対変位量が急増する。

図-8(a1)では、荷重がジョイント材の軸力約9tfに達すると、ブロックとゴム板との接合面にせん断力によるずれが生じ、以後荷重はほとんど増加せず、相対変位量約3mmでストランドがせん断破壊した。図-9

(b)のPC鋼棒・アンボンドの場合でも、ほぼジョイント材の軸力に等しくなるとせん断ずれが生じ、以後荷重はほとんど増加していない。それらの結果から、接合面のせん断耐力は摩擦力によるもので、硬質ゴムとコンクリートとの摩擦係数は約0.5程度であることが分かる。本実験で用いたブロックはメタルフォームを用いて作製したが、表面が粗面であればこの値は異なってくるものと考えられる。

図-8(a2)も同図(a1)と同じ条件下での実験結果であるが、約7tfですべり始めても荷重は徐々に増加し、12.5tfでストランドが破断した。このように、静的破碎剤による拘束が緩い場合は、接合面にせん断ずれが生じ始めた時、ストランドは直接せん断されず、引張力が働き、結果としてほそ的に作用する場合もあるようである。いま、摩

表-2 実験条件一覧

目地材の種類	目地厚(mm)	軸力(tf)	緊張材の種類	アンボンドの有無
硬質ゴム	50	9	CFRP	有*1
			ストランド	無
			PC鋼棒	有
			PC鋼棒	無

*1 目地部分のみアンボンド

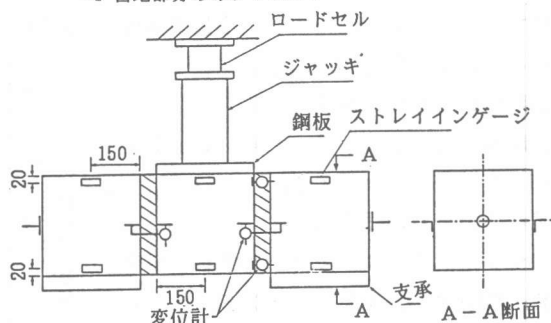


図-7 供試体の形状・寸法および荷重試験状況

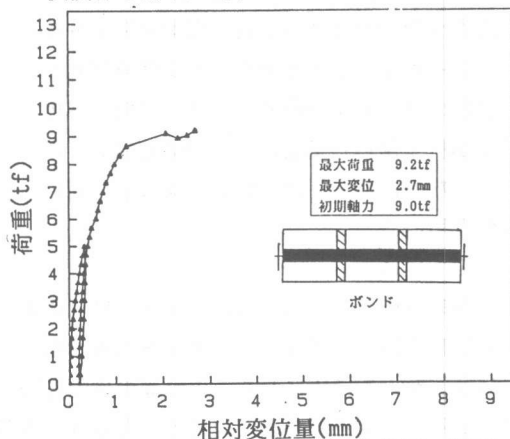


図-8(a1) 荷重と相対変位量の関係 (CFRPストランド)

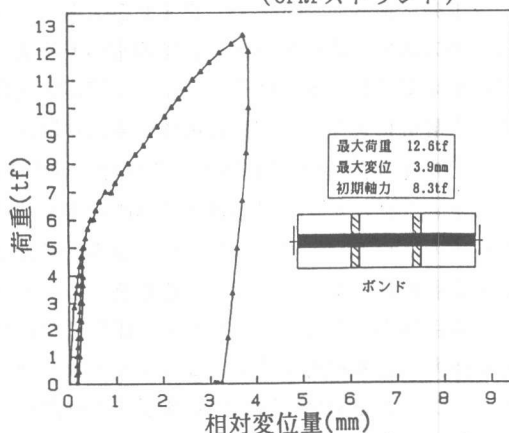


図-8(a2) 荷重と相対変位量の関係 (CFRPストランド)

擦係数を0.5とすると、ほそ作用で負担したせん断力は $12.5/2 - 0.5 \times 8.3 = 2.1 \text{ tf}$ となる。しかしながら、その場合でも破壊時の相対変位量は(a1)の場合と大差なく4 mm以下であった。

図-8(b)は硬質ゴム目地部分のみ、ストランドにウレタンを巻きアンボンド化したものである。最大荷重は11.7 tfとなり、ストランドで1.5 tfのせん断力が負担されている。また、図-8(a1、a2)の場合より相対変位量は3倍程度大きく、エネルギー吸収能は著しく改善されている。

図-9(a)はPC鋼棒・グラウト有りの結果を示したものである。荷重がジョイント材の軸力に達するとせん断面にずれが生じ始めているが、PC鋼棒に貼付したゲージのひずみもその時急増し始めた。このことから、ジョイント材のほそ作用は、荷重によるせん断力が摩擦によるせん断耐力を越えてから発揮されることが分かる。PC鋼棒の場合は、塑性域に達してもせん断破壊は生じず、荷重、相対変位量ともに増加していく。鋼材の靱性がCFRPに比べ格段に高いことが顕著に現れている。

5. ジョイント材の必要最大軸力

図-2に示した消波防波堤の設計では、接合部のせん断耐力は摩擦力のみによって確保され、ジョイント材のほそ作用は期待しないものとしている。摩擦係数は実験結果から0.45とする。また、設計波として、完成型については50年確率波、施工時は10年確率波をそれぞれ採用している。計算の結果、接合部の最も危険な状態は施工時、底盤①とスリットブロック②をセットした時点に生じる。その時、スリットブロックの四隅に配置されたジョイント材には一本当たり22 tfの軸力が要求される。ちなみに、完成型については、セルラー部分の中詰め等により自重が増えるため、5 tf/本で十分である。硬質ゴムを目地材に用いた場合の軸力の経時変化につい

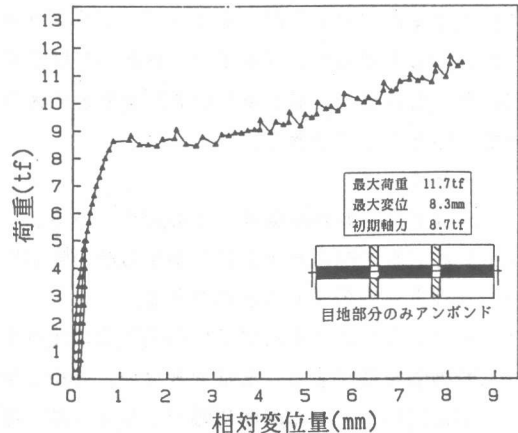


図-8(b) 荷重と相対変位量の関係 (CFRPストランド)

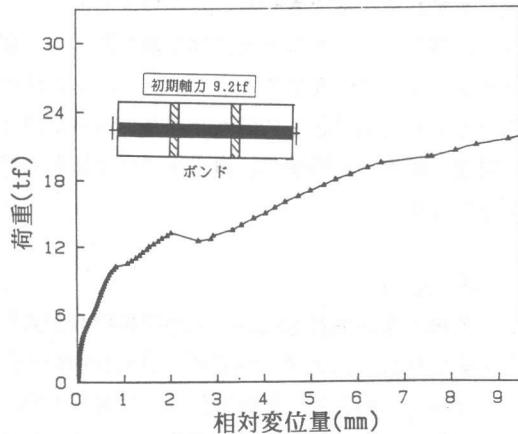


図-9(a) 荷重と相対変位量の関係 (PC鋼棒)

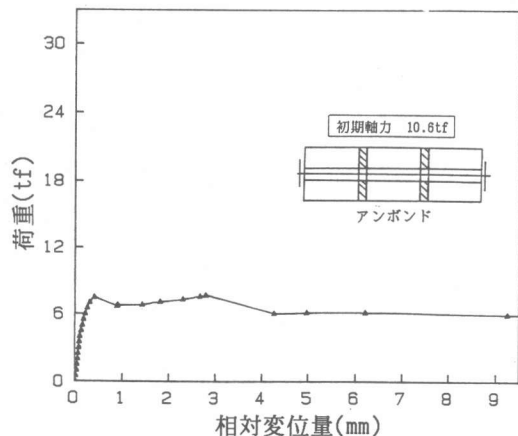


図-9(b) 荷重と相対変位量の関係 (PC鋼棒)

ては現在実験中であるが、クリープ・リラクセーション等による減少量は約20%程度と予測される。したがって、ジョイント材としてはCFRPストランド ϕ 20.3mm(19本より線、保証引張力30.3tf)を用いれば十分と考えられる。また、定着具の寸法は前記の方法によって定めることができる。

6. まとめ

本研究で得られた結果は以下の通りである。

(1) 静的破碎剤の水圧的に作用する高い膨張圧を利用して、CFRPストランドをソフトタッチで確実に定着することができる。

(2) CFRPのせん断強度は引張強度に比べて著しく小さいため、肋鉄筋・折曲げ鉄筋的なせん断補強を期待することはできない。しかしながら、その高い引張強度を利用して、高力ボルト的に用いて、せん断面に軸力を与えれば、摩擦によりせん断耐力を増すことができる。硬質ゴムとコンクリートブロックとの摩擦係数は約0.5である。

(4) せん断面近傍(目地部)に、部分的にアンボンド空間を設けることにより破壊時までのせん断ずれ量を増大させることができる。

(3) 海洋プレキャスト構造物を造る際、接合部の目地材に硬質ゴム、ブロック間をつなぐジョイント材にCFRPストランドをそれぞれ使用し、静的破碎剤でストランドを定着すれば、耐力および耐久性ともに備えた接合方法が実用化できる。

現在、軸力の経時変化、海水中での反応した静的破碎剤の安定性、接合部の耐疲労性等を検討中である。

(参考文献)

- 1) 運輸省第四港湾建設局：新防波堤開発調査技術検討会資料、1989、pp6~9
- 2) 原田哲夫、出光隆、渡辺明：静的破碎剤を用いたコンクリートの解体に関する基礎的研究、土木学会論文集、第360号/V-3 pp61~70、1985
- 3) 多田浩、高西照彦、小坪清真：プレキャストコンクリートブロック式防波堤の接合部応力、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1989、pp64~65