

津波防波壁における鉄筋およびH形鋼を用いた 定着構造に関する実験的研究

田中 智宏¹・池野 勝哉²・宗田 昇大³・志水 克成³・
磯田 隆行³・佐々木 慎⁴・中野 正之⁴・伊野 同⁴

¹ 正会員 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: tomohiro.tanaka@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

² 正会員 五洋建設(株) 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

³ 中国電力(株) 電源事業本部 (〒730-8701 広島県広島市中区小町 4-33)

⁴ 正会員 五洋建設(株) 中国支店 (〒730-8542 広島県広島市中区上八丁堀 4-1)

本研究では防波壁の定着構造に関する実験を実施した。既設防波壁の嵩上げで用いる鉄筋の定着構造の付着強度は、コンクリート標準示方書の付着強度と比較すると、鉄筋とコンクリートの付着強度と同程度の裕度を有していた。また、鉄筋をへりあき近傍に定着した影響を調べるため、鉄筋の引抜き実験を行った。へりあき面に限定的なひび割れが生じたが荷重は低下せず、本実験条件下では鉄筋の定着性能に与える影響がないことを確認した。せん断キーとしてH形鋼を用いた岩盤との定着構造については耐荷性能を把握するため、実物大規模模型を用いたせん断載荷実験を行った。載荷に伴うH形鋼の挙動によりコンクリートにひび割れが生じたが、以降荷重は緩やかに推移し最大値に至った。本実験のひずみ計測範囲においてはH形鋼の挙動は弾性範囲内に留まった。

Key Words : *Tsunami breakwater, anchorage structure, large-scale loading test, bond strength test, shear key*

1. 序論

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震では、震源地付近の発電所において津波による甚大な被害を受けた¹⁾。津波や地震といった自然災害に対し、多種多様にわたる安全確保のため、これまで重層的な防災対策工事が実施されている。津波による敷地内への浸水を防止するための津波防護対策施設の一つとして、構内の水際線沿いに津波防波壁が設置され、またその強化が図られているところである。

発電所における津波に対する安全性をさらに高める対策として、太径鉄筋を用いて既設と新設コンクリートの定着を図る構造により、津波防波壁の嵩上げが実施されている。また、地上に露出した岩盤上に新たに設置した津波防波壁については鉄筋に加え、岩盤と躯体コンクリートとの境界部にせん断キーとして鋼材を定着し、津波や地震といった外力に対して鉄筋とともに一体的に抵抗する構造が採用されている。

本研究では、津波防護対策施設として建設された津波防波壁の鉄筋およびH形鋼を用いた定着構造に関する要素試験および実物大規模実験について報告する。

2. 防波壁構造の概要

本章では、津波防護施設である防波壁の構造概要と実験内容について述べる。なお防波壁の配置や構造形式の選定、設計概要については文献²⁾を参照されたい。

(1) 嵩上げで用いる鉄筋定着による防波壁構造概要

図-1(a)に嵩上げによる防波壁の構造概要を示す。嵩上げによる防波壁は、目荒らし処理された既設コンクリートを内包し新たにコンクリートが打設された構造であり、主鉄筋(SD345)は、海側がD51および陸側がD41である。主鉄筋は既設の護岸コンクリートをあと穿孔し鉄筋を設置したのち、孔内にセメントミルクを注入し定着する構造となっている。なお主鉄筋の定着長は、コンクリート標準示方書³⁾に示された基本定着長としている。津波や地震といった外力により生じたモーメントに対し、主鉄筋の引抜き力によって抵抗する設計思想となっている。

鉄筋をセメントミルクで定着させた構造については、丸鋼とセメントミルクとの付着強度を調べた研究⁴⁾があるものの、太径異形鉄筋を対象としたものは見られない。そこで、鉄筋を用いた防波壁定着構造においては、定着

材であるセメントミルクと太径鉄筋の破壊形態や付着性能を調べるため、鉄筋の付着強度試験を行った。

また、陸側に設置した主鉄筋 D41 は、護岸コンクリート側面端部から主鉄筋までのへりあきが 200 mm と距離が短いため、このへりあき条件を含めた主鉄筋の定着構造を実物大規模で再現し、鉄筋の引抜き実験を行うことで引抜き耐力を把握するとともに、へりあき条件が鉄筋の定着性能に与える影響について実験的検証を行った。

(2) H 形鋼を用いた岩盤定着による防波壁構造

防波壁の一部においては、地上部に堅硬な岩盤が露出している。この範囲に設置された防波壁については、躯体を直接岩盤上に支持させる構造となっている。図-1(b)に岩盤上に定着し支持させた防波壁の構造概要を示す。主鉄筋の仕様や定着方法や定着長、定着材料は前節に記した鉄筋を用いた防波壁構造と同様である。

津波や地震といった外力に対する抵抗力を向上させるため、岩盤と躯体コンクリートの境界部にせん断キースとして H 形鋼(SM490, H350×350×12×19)をウェブが護岸法線方向と平行となる向きに主として 1 m 間隔で設置している。岩盤をφ560 mm であと穿孔した孔内へ H 形鋼を設置し、孔内にコンクリートを打設し岩盤に定着する構造となっている。

岩盤に H 形鋼を定着させた構造については、同種構造を対象とした载荷実験は見当たらない。そこで、H 形鋼を用いた定着構造が保有する耐荷性能を把握するため、大型コンクリートブロックによりせん断キースである H 形鋼周辺部の構造を部分的に実物大規模で再現し、水平荷重を与えたコンクリートブロックを介して、H 形鋼にせん断力を載荷するせん断载荷実験を行った。

3. 鉄筋を用いた定着構造に関する付着強度試験および鉄筋引抜き実験

(1) 付着強度試験の概要

試験方法は土木学会規準⁵⁾に準拠し、供試体中に定着させた鉄筋を片引きで引き抜いた。供試体は立方体形状で 1 辺は鉄筋径の 6 倍である。ただし、供試体作成時のコンクリート打設方向について、同規準では鉄筋軸直角方向と規定されているのに対し、本試験では実機の防波壁の施工手順に即し、打設方向は鉄筋軸方向とした。また一定の変位まで鉄筋を引き抜くための配慮および安全確保の方策として、文献 6) を参考に供試体内にφ6 mm のらせん筋を設置した。

試験ケースを表-1 に示す。供試体においては、実機の防波壁のあと穿孔を箱抜きにより模擬し、鉄筋をセメン

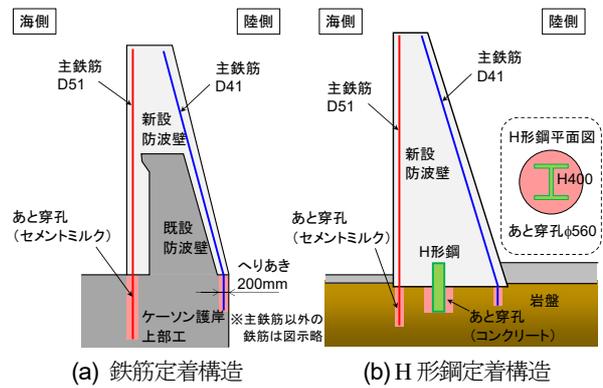


図-1 防波壁構造の概要図

表-1 試験ケース (付着強度試験)

鉄筋種別	あと穿孔	定着材
D41	有	セメントミルク
D51		
D41	無	コンクリート
D51		

表-2 セメントミルクの配合

単位量(kg/m ³)		
練混ぜ水	普通セメント	混和材
590.4	1,230	27.7

トミルクで定着させた。セメントミルクの配合を表-2 に示す。また比較のため、あと穿孔を伴わず鉄筋をコンクリートで定着させた供試体も作製した。試験は同条件で各 3 体ずつ実施した。試験実施日におけるコンクリートおよびセメントミルクの圧縮強度の平均値はそれぞれ 35.4 N/mm²、55.4 N/mm²であった。

(2) 付着強度試験結果および考察

鉄筋の引抜きに伴う供試体の挙動を観察したところ、いずれのケースも鉄筋の引抜き荷重が最大に至り、供試体表面に鉄筋軸方向のひび割れが生じて荷重が低下した。最大引抜き荷重は鉄筋の降伏荷重以下であり、鉄筋は降伏に至っていない。また、試験後にセメントミルクで定着させた供試体を解体したところ、鉄筋とセメントミルクとの境界において鉄筋が引き抜けた痕跡が確認された。これらのことより、鉄筋はセメントミルクとの界面で付着破壊が生じたと判断された。

図-2 に鉄筋の定着材であるセメントミルクあるいはコンクリートの強度と最大付着応力度の関係を示す。なお同図には、鉄筋 D16~D51 を用いたコンクリートの付着強度に関する既往試験結果^{6)~8)}、およびコンクリート標準示方書における付着強度の特性値 f_{ok} を併記した。ここで最大付着応力度は、最大引抜き荷重を鉄筋の付着面積で除した値とした。最大付着応力度はコンクリートと

比較して、セメントミルクと付着している方が約1割小さくなった。これはコンクリートに含まれる粗骨材は、鉄筋との間に機械的な噛み合わせを発揮することができるためと考えられる。また鉄筋径が小さい方がわずかではあるが最大付着応力度が大きい。鉄筋節の支圧面積に関する指標として国分・岡村⁹⁾は支圧面積係数 BA を提案している。 BA が大きいほど付着応力度は大きくなる傾向にあり、使用した鉄筋の BA はそれぞれ D41 が 5.7%、D51 が 4.5%であったことと調和的である。さらにコンクリート標準示方書における付着強度 f_{bok} と比較すると、本実験の鉄筋とセメントミルクの付着応力度は、既往実験の鉄筋とコンクリートの付着応力度と概ね同程度の裕度を有していたことがわかった。

(3) 鉄筋引抜き実験の概要

実物大規模の鉄筋引抜き実験の概要を図-3に示す。コンクリートブロックはケーソン護岸上部工を再現しており、寸法は長さ4.8m×幅2.4m×高さ2mである。実験対象の鉄筋は図-1(a)に示した陸側主鉄筋のD41で、あと穿孔径はφ65mm、定着長は1,050mmで実機と同じ仕様とした。へりあき条件200mmを再現した鉄筋3本を千鳥配置でコンクリートブロック中に定着させた。定着材は、前述した付着強度試験と同じ配合のセメントミルクである。ブロック内の底面を除く5面には実機同様にひび割れ防止筋として、芯かぶり100mmの鉄筋D13を200mm間隔で格子状に配筋した。鉄筋の設置間隔は鉄筋公称径の10倍以上とし、鉄筋引抜き時において他の鉄筋に影響を与えないよう十分な隔離を確保した。また比較のため、へりあき条件のない鉄筋D41を定着させた別の同規模のコンクリートブロックも作製し、鉄筋引抜き実験に供した。実験実施期間におけるコンクリートおよびセメントミルクの圧縮強度の平均値はそれぞれ27.1 N/mm²、33.9 N/mm²であった。鉄筋の引抜き荷重には、センターホールジャッキを用いた。安全面を考慮して鉄筋が降伏に至ったことを確認したのち、引抜き荷重を終了した。

計測項目は、鉄筋の引抜き荷重およびブロック表面付近における鉄筋の変位とひずみである。その他、コンクリートブロックのへりあき面（側面）におけるひび割れ状況の目視観察も実施した。

(4) 鉄筋引抜き荷重の試算

想定されるいくつかの破壊形態における鉄筋の引抜き荷重について、日本建築学会指針¹⁰⁾に基づき試算した。試算結果を表-3に示す。鉄筋の降伏荷重と最大引張荷重は、別途実施した材料試験値の平均値とした。付着応力度は前述の付着強度試験より得られた値とした。試算の結果、へりあき条件を考慮しても付着破壊時の荷重が最も大きくなった。鉄筋引抜き実験においては、鉄筋が降

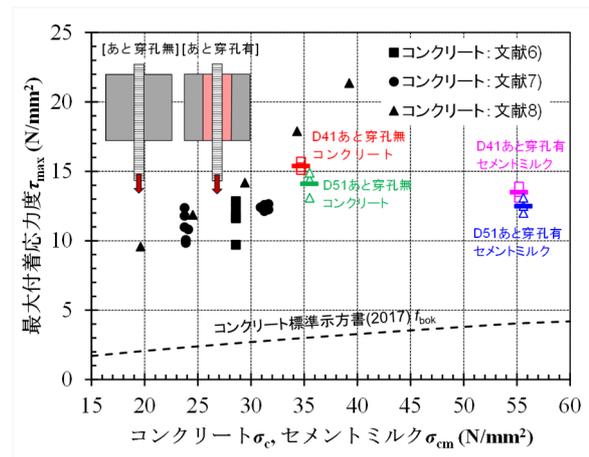


図-2 セメントミルクおよびコンクリート強度と最大付着応力度の関係

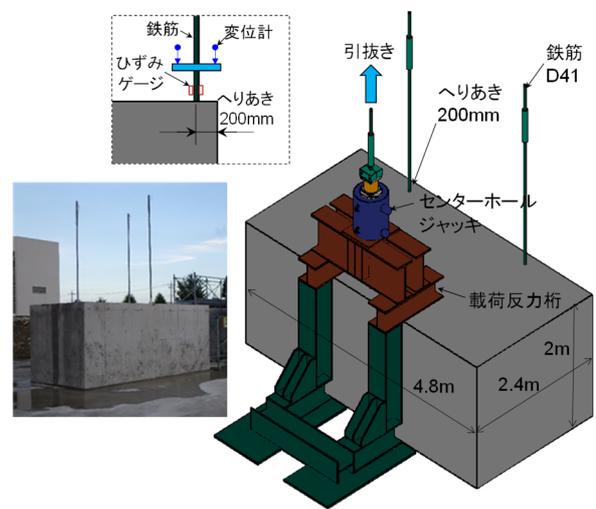


図-3 鉄筋引抜き試験の概要

表-3 鉄筋の引抜き荷重の試算結果

荷重種別	荷重(kN)
鉄筋の降伏荷重	511
鉄筋の最大引張荷重	791
付着破壊が生じる荷重 (へりあき条件考慮)	1,252
付着破壊が生じる荷重 (へりあき条件無)	1,683

伏に至る事象が最初に生じると考えられた。

(5) 鉄筋引抜き実験結果および考察

鉄筋の引抜き荷重とブロック表面付近における鉄筋変位の関係を図-4、また鉄筋の引抜き荷重とブロック表面付近における鉄筋ひずみの関係を図-5に示す。両図には別途材料試験により得られた鉄筋の降伏荷重の平均値を併記した。引抜き荷重の増加とともに鉄筋変位やひずみは増加した。鉄筋変位には差異がみられるが、これは定着材のセメントミルクの強度のバラツキによるものと推

察される。鉄筋を引き抜く間、へりあき面の鉄筋軸方向において幅 0.03 mm 以下の微細なひび割れが生じたが、写真-1 に示すようひび割れが生じた範囲は限定的であった。このひび割れに伴う荷重低下は認められず、その後鉄筋は降伏に至った。なお、鉄筋変位はブロック表面付近で計測しているため、鉄筋自体の伸び分も含まれるが、降伏に至るまでの鉄筋変位は 1~2.5 mm 程度と微小であった。へりあき条件の無い鉄筋変位が小さいが、これはへりあき面に設置したひび割れ防止筋の拘束効果によるものと考えられる。なお図-5 には、鉄筋の両端を完全固定した状態で引張力を与えた材料試験より得られた結果も併記した。引抜き試験および材料試験より得られた荷重-ひずみ関係は概ね一致し、弾性的な挙動を示していることがわかる。また、へりあき条件のない鉄筋についても同図に併記したが同様の結果であった。以上より、あと穿孔した孔内にセメントミルクで鉄筋を定着させた構造においては、へりあき面の限定的な範囲において鉄筋軸方向のひび割れが生じるものの、ひび割れ発生に伴

う荷重低下は認められなかった。本実験の供試体仕様においては、へりあき条件が鉄筋の定着性能に与える影響はないものと考えられる。

4. H 形鋼を用いた定着構造に関するせん断 載荷実験

(1) せん断載荷実験概要

せん断載荷実験の概要を図-6 に示す。供試体は H 形鋼周辺部の構造を部分的に実物大規模で再現したものである。せん断キーである H 形鋼にコンクリートを介してせん断力を与えるため、供試体は上部と下部に分割したコンクリートブロックにより構成されている。上部ブロックは防波壁の躯体を模擬した。H 形鋼が定着する岩盤は、電研式岩盤分類¹¹⁾の C_H 級に相当する割れ目の少ない比較的堅固な岩盤であることから、H 形鋼の拘束条件は同等と考えられたため、下部ブロックは無筋コンクリート

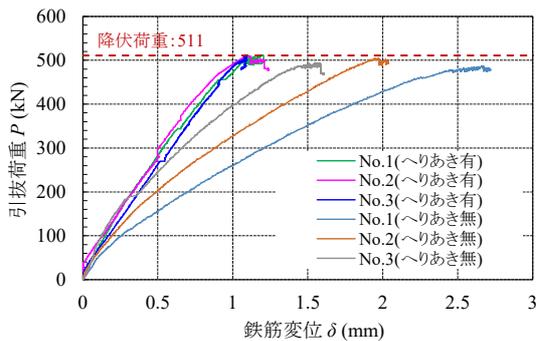


図-4 鉄筋の引抜き荷重と鉄筋変位の関係

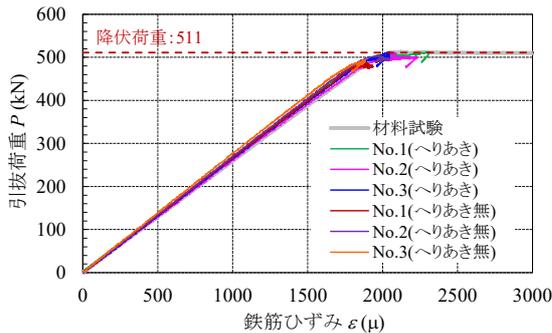


図-5 鉄筋の引抜き荷重と鉄筋ひずみの関係

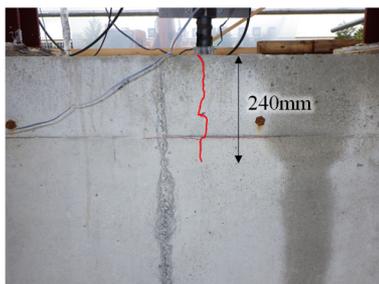


写真-1 へりあき面に生じたひび割れ (定着長 1,050mm)

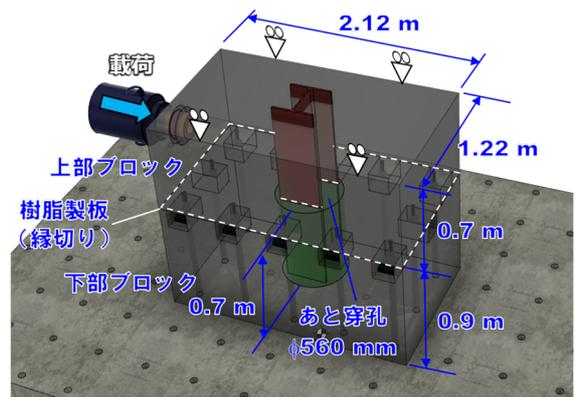


図-6 せん断載荷実験の概要

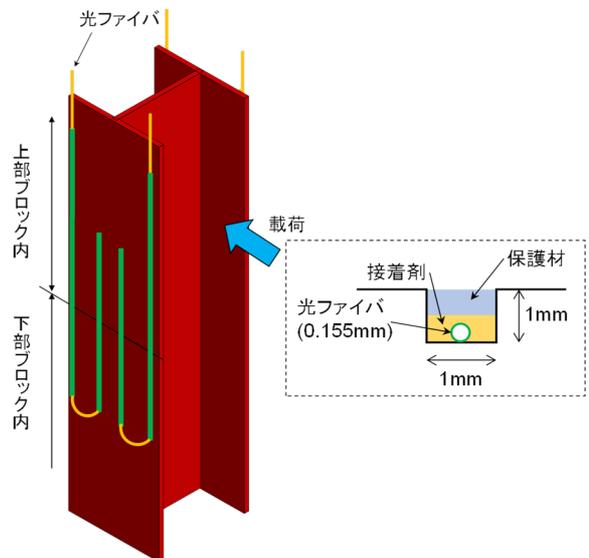


図-7 H 形鋼に設置した光ファイバ測線

により模擬した。

ブロックの寸法は長さ 2.12m×奥行 1.22m で、上部と下部の高さはそれぞれ 0.7 m, 0.9 m である。H 形鋼はこれらブロックをまたがる中心部にあと穿孔により建込み、実機同様に H 形鋼のフランジが荷重方向と平行となる向きに設置した。下部ブロックのあと穿孔径はφ560 mm である。実験実施日における上部および下部ブロックの圧縮強度の平均値はそれぞれ 22.2 N/mm², 31.3 N/mm² であった。下部ブロックは PC 鋼棒により反力床に固定した。上部と下部のブロックの接触面には樹脂製板 2 枚を挟むことで縁を切り、両板間には摩擦低減のためグリースを塗布した。せん断荷重は油圧ジャッキを用い、上部ブロックの中心高さにおいて約 50 kN 刻みで段階的な漸増水平荷重を与えた。上部ブロックにできるだけ水平荷重のみを与えるため、フレームにより上部ブロック上面の鉛直変位を拘束した。上部ブロックとフレームの接触面には樹脂製板を介在させ、摩擦の低減を図った。

計測項目は、上部ブロックへ与えた水平荷重および上下ブロック間の相対変位である。また荷重に伴う H 形鋼の挙動把握のため図-7 に示すように、フランジ 2 面の軸方向表面において幅および深さがそれぞれ約 1 mm の溝を設け、溝内にシングルモードの光ファイバ(φ0.155 mm)を 4 測線敷設し、OFDR 方式(空間分解能 0.65 mm)による H 形鋼フランジのひずみ計測を試みた。

(2) 実験結果および考察

a) せん断耐力特性

図-8 にせん断荷重とせん断変位の関係を示す。せん断変位は 4 測点で計測した上部ブロックの相対水平変位の平均とした。上部ブロックが相対的に水平変位し、与えた水平荷重がコンクリートを介して H 形鋼に伝達されるとせん断荷重は 1,703 kN まで徐々に増加した。以降は荷重増分が緩やかになったがせん断荷重は増加し続け最大値に至った。その後は荷重が低下したため荷重を終了した。最大せん断荷重は 1,852 kN となり、最大荷重時において上部ブロックに生じた傾斜は約 0.07 度であった。

b) 上部ブロックのひび割れ性状

せん断荷重 1,703 kN 付近で、コンクリートブロック内部より異音が生じ始めた。そして図-9 に示すように上部ブロックにおいて、荷重側のフランジを起点としたひび割れが生じた。このひび割れはブロック上面から側面にかけて連続していた。しかし、前項で述べたようひび割れ発生後に荷重増分は緩やかになったものの、ひび割れ発生に伴う脆的な荷重低下は認められなかった。

c) H 形鋼のひずみ分布

図-10 には、最大せん断荷重時における H 形鋼フランジ表面のひずみコンターを示す。ひずみは引張を暖色(正值)、圧縮を寒色(負値)として表示している。境界部付

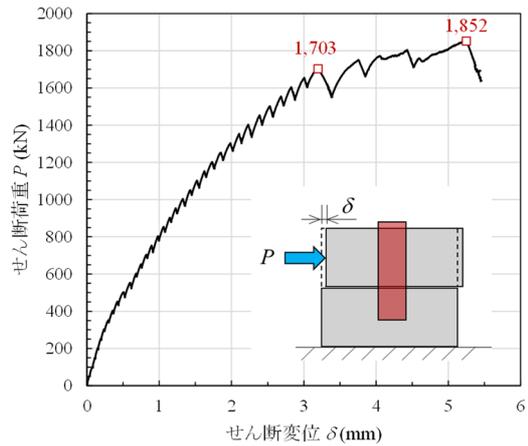


図-8 せん断荷重とせん断変位の関係

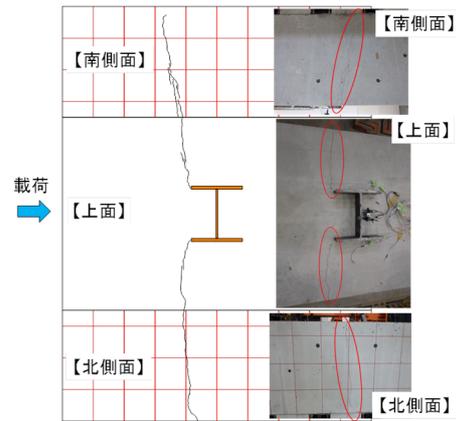


図-9 上部ブロックに生じたひび割れ展開図

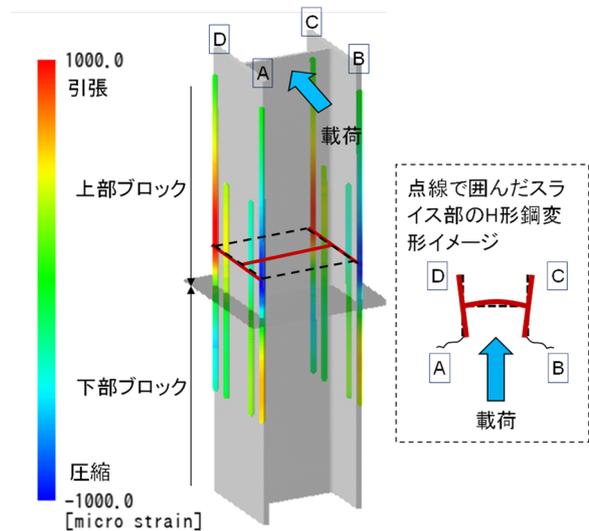


図-10 H 形鋼フランジ表面のひずみコンター

近の上部ブロック内に着目すると、同図中に A・B として示す荷重側のフランジ表面は圧縮側に歪む傾向にある。このことは A・B 両フランジが内側に凸状に変形、換言するとフランジ間距離が狭まる変形を生じたと推測される。対して、同図中に C・D として示す荷重側と反対側のフランジ表面は逆に引張側に歪む傾向にあり、C・D 両

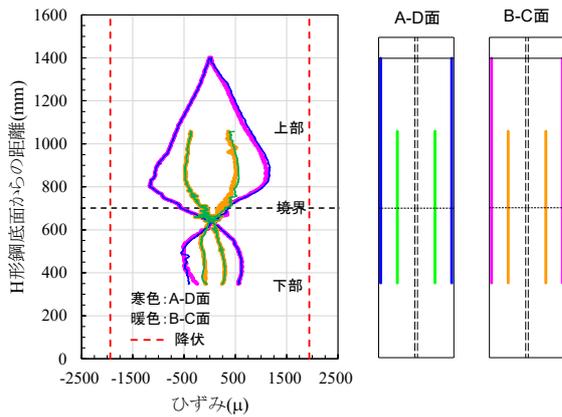


図-11 H形鋼フランジ表面のひずみ深度分布

フランジが外側に凹状に変形、つまりフランジ間距離が広がる変形を生じたと考えられる。これら推測に基づき、上部ブロック中におけるH形鋼の変形を平面的に示したイメージを図-10に併せて示す。上部ブロックへの水平载荷によりコンクリートを介してウェブが押され、フランジ間距離の伸長が生じ、フランジ端部のコンクリートに引張応力が生じたものと考えられる。このことは前項で述べた载荷側のフランジを起点としたひび割れが生じた事象から裏付けられる。

せん断荷重の最大時におけるフランジ表面のひずみ深度分布を図-11に示す。H形鋼のフランジ外縁に最大ひずみが生じ、その値は1,180 μ であった。H形鋼より切り出した試験片の材料引張試験より得られた降伏点におけるひずみは1,940 μ であり、計測範囲においてはH形鋼に生じたひずみはこれを下回った。また、実験終了後にブロックから取り出したH形鋼を観察したところ、曲がりや反りといった変形や局所的な変形は確認されなかった。せん断キーとして鋼材を配置した本定着構造におけるH形鋼は、概ね弾性範囲内の挙動に留まったと考えられる。

5. 結論

本研究では、防波壁における鉄筋やH形鋼を用いた定着構造に関する検証実験を行った。既設防波壁の嵩上げで用いる鉄筋の定着構造については、まず太径鉄筋とセメントミルクとの付着性能を調べるため鉄筋の付着強度試験を行った。また、鉄筋のへりあき条件が与える影響について把握するため、実物大規模の鉄筋の引抜き実験を実施した。H形鋼を用いた岩盤との定着構造については、せん断キーとしてのH形鋼が有する耐荷性能を把握するため、実物大規模の模型を用いたせん断载荷実験を行った。その結果、以下に記す知見が得られた。

- (1) 付着強度試験の結果、太径鉄筋 D41 および D51 とセメントミルクとの付着応力はコンクリートと比較して約1割小さくなった。また、コンクリート標準示方書に示される付着強度と比較すると、既往実験の鉄筋とコンクリートの付着応力と概ね同程度の裕度を有していることがわかった。
- (2) 鉄筋の引抜き実験の結果、引抜き载荷中においてへりあき面に微細なひび割れが生じたが発生範囲は限定的であり、これに伴うに荷重低下は認められなかった。本実験の供試体仕様においては、へりあき条件が鉄筋の定着性能に及ぼす影響はないものと考えられた。
- (3) せん断载荷実験の結果、最大荷重の約9割強の荷重でH形鋼フランジを起点とするひび割れが生じたが、このひび割れに伴う脆性的な荷重低下は認められなかった。ひび割れ発生以降、荷重増分は緩やかになったもののせん断荷重は増加し続け最大値に至った。またH形鋼のひずみ計測より、本実験の計測範囲において载荷中の挙動は概ね弾性範囲内に留まったと考えられた。

REFERENCES

- 1) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告，土木編5，原子力施設の被害とその影響，81p.，2014. [Joint Editorial Committee for the Report on the Great East Japan Earthquake Disaster: Report on the Great East Japan Earthquake Disaster, Civil Engineering Part 5, Damage to Nuclear Power Plants and its Radioactive Effects on Neighboring Area, 81p.，2014.]
- 2) 吉次真一，清重直也，大久保佳美，河原和文：島根原子力発電所津波防波壁の設計について，土木学会第66回年次学術講演会講演概要集，VI-186，pp. 371-372，2014. [Yoshitsugu, S., Kiyoshige, N., Ookubo, Y. and Kawahara, K: Design of Tsunami Breakwaters at Shimane Nuclear Power Plant, Proceedings of annual conference of the Japan Society of Civil Engineers, VI-186, pp. 371-372, 2014.]
- 3) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書[設計編]，pp. 351-353，2017. [Japan Society of Civil Engineers: Standard Specifications for Concrete Structures 2017, Design, pp. 351-353, 2017.]
- 4) 和田新，川添洋一，吉岡健一，篠崎裕生：セメントミルク硬化体と鋼材の付着強度について，土木学会第59回年次学術講演会講演集，V-401，pp. 799-800，2004. [Wada, A., Kawazoe, Y., Yoshioka, K. and Shinozaki, Y.: Bonding Strength of Hardened Cement Milk and Steel Materials, Proceedings of annual conference of the Japan Society of Civil Engineers, V-401, pp. 799-800, 2004.]
- 5) 土木学会規準：引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法，JSCE-G 503-2013，2013. [JSCE Standards: Test method of bond strength between reinforcing steel and concrete by pull-out test, JSCE-G 503-2013, 2013.]
- 6) 若林和義，鈴木敏夫，志村明春，鈴木澄江：引抜きに

- よる鉄筋とコンクリートの付着強度試験の供試体小形化に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 38, No. 1, 2016. [Wakabayashi, K., Suzuki, T., Shimura, M. and Suzuki, S.: Study about downsizing of specimens for bond strength between concrete and steel bar by pull out test, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 38, No. 1, pp.387-392, 2016.]
- 7) 異形鉄筋コンクリート設計法研究会編: 異形鉄筋コンクリート設計法, 技報堂, p. 33, 1971. [Study group of deformed reinforced concrete design methods: *Design methods of deformed reinforced concrete*, Gihodo, p. 33, 1971.]
- 8) 村田次郎, 河合紘茲: 引抜き試験による異形鉄筋の付着強度に関する研究, 土木学会論文集, No. 348/V-1, pp. 113-122, 1984. [Murata, J. and Kawai, T.: Studies on Bond Strength of Deformed Bars by Pull-out Tests, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, No. 348/V-1, pp. 113-122, 1984.]
- 9) 国分正胤, 岡村甫: 太径鉄筋の使用に関する研究, 土木学会論文報告集, No. 202, pp.103-113, 1972. [Kokubu, M. and Okamura, H.: Use of Large-Sized Deformed Bars in Reinforced Concrete, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, No. 202, pp. 103-113, 1972.]
- 10) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, pp. 207-273, 2019. [Architectural Institute of Japan: *Design Recommendations for Composite Constructions*, pp. 207-273, 2019.]
- 11) 原子力土木委員会地盤部会, 地質・地盤の調査・試験法標準化分科会: 原子力発電所地質・地盤の調査・試験法, 土木学会論文集, No. 358/III-3, pp. 11-26, 1985. [Ground Assessment Working Group, Ground Integrity Subcommittee, Committee of Civil Engineering of Nuclear Power Plant: Ground Assessment Methods for Nuclear Power Plant, *Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers*, No. 358/III-3, pp. 11-26, 1985.]

(Received February 9, 2023)

(Accepted May 11, 2023)

EXPERIMENTAL STUDY ON ANCHORAGE STRUCTURES WITH REINFORCING BARS AND H-BEAMS IN TSUNAMI BREAKWATER

Tomohiro TANAKA, Katsuya IKENO, Shoudai SOUDA, Katsunari SHIMIZU, Takayuki ISODA, Makoto SASAKI, Masayuki NAKANO and Hitoshi INO

In this study, various tests were performed on the anchoring structure of Tsunami breakwaters. For the anchorage structure using reinforcing bars and cement milk, it was confirmed that the bond strength of the anchorage structure of the reinforcing bars had a margin of safety equivalent to the bond strength between reinforcing bars and concrete compared with the bond strength of Standard Specifications for Concrete Structures. Although limited cracking occurred on the edge surface, pull-out load did not decrease, confirming that there was no effect on the anchoring performance of the reinforcing bars under the experimental conditions. Also, to elucidate the load-bearing capacity of the anchoring structure between a steel H-beam as a shear keys and the bed-rock, a shear loading test using a full-scale physical model was conducted. Although cracks appeared in the concrete due to the behavior of the H-beam under the load, the load gradually increased until reaching its maximum value. Strain measurements on the H-beam confirmed that their behavior under the load was generally within the elastic range on this experiment.