

繰り返し荷重を受ける高力ボルト摩擦接合継手の引張強度特性試験

中部電力（株） 正会員 ○金城 鐘頭
 中部電力（株） 正会員 新木 毅
 中部電力（株） 非会員 北林 資也

1. はじめに

浜岡原子力発電所では、2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の津波被災を受け、敷地海側に津波防護施設「防波壁」を設置した。

防波壁（図-1）のたて壁は鋼構造で、高さ方向の2か所に高力ボルト摩擦接合継手（以下、継手部）を有する。

継手部の強度は、想定される大規模な地震・津波の作用に対し、ボルトの孔引きを考慮した純断面で設計しているが、防波壁のような津波防護施設は、津波の繰り返しの襲来や想定を超える規模の津波に対しても、その機能を発揮することが求められる。したがって、そのような荷重に対する継手部の強度・変形特性の確認が安全余裕を把握するうえで重要と考えられる。

そこで、実機の継手部を模擬した試験体による繰り返し引張載荷試験を行い、継手部が終局状態に至るまでの荷重変位特性を明らかにし、実機的设计裕度について確認した。

2. 検討概要

本試験は、JFE スチール（株）所有の5MN引張試験機にて実施した。試験機の概要を図-2に示す。ピンを介して試験体を試験機に設置し、鉛直上向きに引っ張り、試験体のボルト側、ナット側の両面に設置した変位計により荷重変位関係を計測した。

図-3に試験体の概要を示す。継手部の一部を実スケールで模擬した同一形状の試験体を2ロット（以降、A試験体・B試験体）で3体ずつ、計6体作成した。厚さの異なる2枚の母材（PL-16、PL-26）と添接板（SPL-10、SPL-11）、およびフィラープレート（FPL-10）を3本×6列の高力ボルト（S10T-M22）で接合した。板厚の薄い方の母材（PL-16）の寸法を表-1に示す。

載荷方法については、所定の載荷ステップにおいて津波の繰り返しを想定した一方方向繰り返し載荷とし、荷重①：孔引きを考慮した母材の純断面降伏強度（規格値）（以下、降伏強度（規格値））×1.05相当の荷重、荷重②：高力ボルトのすべり耐力（規格値）相当の荷重、荷重③：試験体のピーク耐力相当の荷重の3ステップについて除荷－再載荷を3回ずつ繰り返した後、試験体が破断するまで載荷した（図-4）。

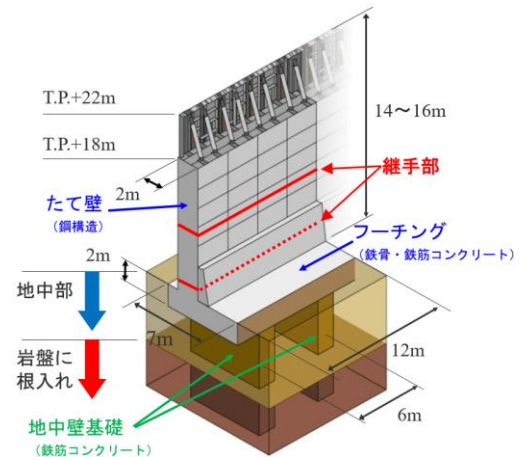


図-1 防波壁の概要

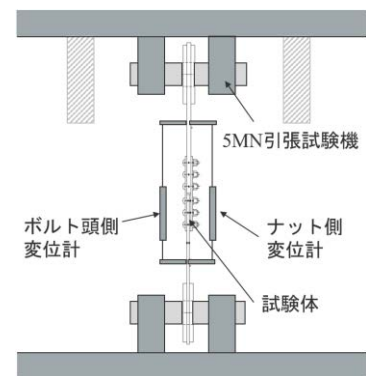


図-2 試験機の概要

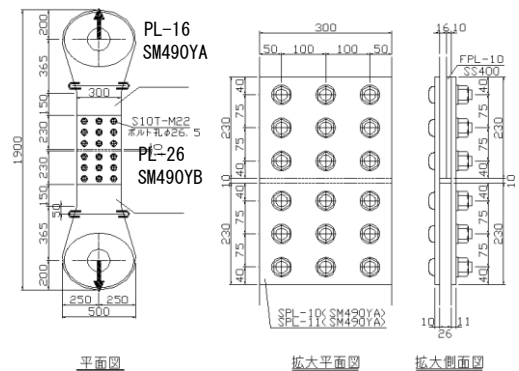


図-3 試験体の概要

表-1 PL-16の寸法（単位：mm）

試験体	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
板厚	16.35	16.27	16.37	15.96	15.87	15.91
板幅	300.12	300.67	300.62	299.69	299.67	300.15

キーワード 防波壁, 高力ボルト摩擦接合継手, 繰り返し荷重, すべり耐力

連絡先 〒461-8680 名古屋市東区東新町1番地 中部電力（株）原子力本部 原子力土建部 TEL052-973-2253

3. 検討結果

図-5 に B-1 試験体の荷重変位曲線を示す。6 試験体ともに荷重①までは概ね線形で、以降徐々に勾配が小さくなり、荷重②を 10%程度上回る荷重（表-2 のすべり耐力実勢値）ですべりが複数回発生した後、荷重③を迎え、最後は母材 PL-16 の外側（接合部中央から 3 列目）のボルト孔で破断する結果となった。繰り返し载荷の影響について、除荷—再載荷時の勾配は概ね一定で元の荷重変位関係に戻ることが確認された。また、各試験体のすべり耐力の実勢値はすべり耐力の規格値を、ピーク荷重の実勢値は引張強度の規格値をそれぞれ上回る結果を示した（表-2）。

図-6 に B 試験体の荷重変位曲線と、設計で用いる降伏強度（規格値）を勾配変化点とするバイリニア構成則、さらにすべり耐力（規格値）を勾配変化点とするバイリニア構成則を比較した結果を示す。この結果、すべり耐力（規格値）をもとに描いたバイリニア構成則による再現性が高いことが確認された。なお、実験に用いた継手は降伏のあとにすべりが発生する降伏先行型の挙動を示し、すべり耐力（規格値）は降伏強度（規格値）に対し余裕があること、さらにすべり耐力の規格値と実勢値にも 10%以上の余裕があることから、すべり耐力（規格値）をもとに描いたバイリニア構成則で添接部の荷重変位特性を設定することは妥当と考えられる。

4. まとめ

本稿では防波壁の継手部を模擬した試験体を用いて繰り返し载荷実験を実施し、終局状態に至るまでの継手部の荷重変位特性を把握した。試験結果より、降伏強度、すべり耐力、ピーク耐力付近の各荷重レベルで繰り返し载荷を実施しても元の荷重変位曲線に戻り、変形・強度特性に与える影響は軽微であることを確認した。

また、継手部の荷重変位曲線と設計で用いるバイリニア構成則との比較では、孔引きを考慮した純断面降伏による設計は保守的であるが、荷重変位曲線の再現性の観点では、ボルトのすべり耐力（規格値）をもとに描いたバイリニア構成則の方がより適切であることを確認した。

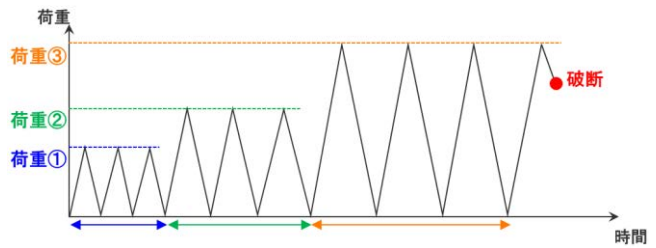


図-4 载荷イメージ概要図

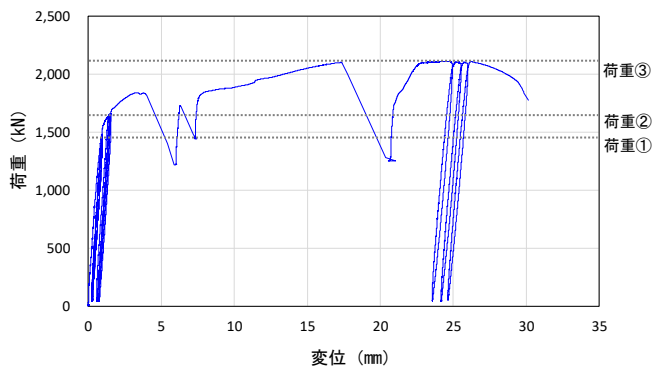


図-5 B-1 試験体の荷重変位曲線

表-2 試験体強度の実勢値と規格値（単位：kN）

試験体	実勢値		規格値	
	すべり耐力	ピーク荷重	すべり耐力	引張強度
A-1	1,900	2,109	1,662	1,895
A-2	1,873	2,114		1,891
A-3	1,875	2,131		1,902
A試験体平均	1,882	2,118		1,895
B-1	1,829	2,108		1,846
B-2	1,811	2,077		1,836
B-3	1,867	2,091	1,844	
B試験体平均	1,835	2,092	1,842	

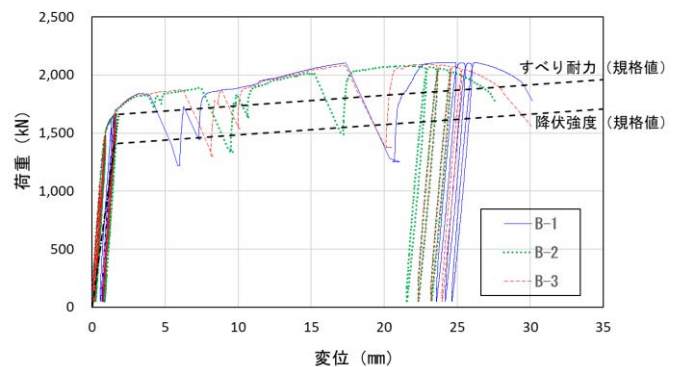


図-6 B 試験体の荷重変位曲線とバイリニア構成則（勾配変化点：すべり耐力、降伏強度の規格値）