

川崎製鉄株式会社 正会員 ○三 好 弘 高

同 上 滝 沢 章 三

同 上 山 本 昇

1 まえがき

ジャケット型ブラットフォーム等の海洋構造物では、上部の鋼管構造体を海底地盤上に沈設、固定するのに、その主管より径の小さい鋼管杭を主管内面に沿って打設し、主管と杭とで構成される2重鋼管部の空隙にモルタルを注入する方法がよく用いられており、鋼管とモルタルとの付着強度が設計上の重要なデータとなる。鋼管とモルタルとの付着強度に関する実験は数多くみられるが、注入するモルタルの種類、鋼管の剛性や表面状態、付着長（モルタル充填部の長さ）等によつて著しくばらつくために特定の工事のみを対象とした単発的な実験が多く、したがつて、2重鋼管継手部の強度に関する系統的な実験例はほとんどみあたらない。

本研究は、上述のようなモルタル充填した2重鋼管の押抜きせん断強度を明確に把握することを目的としたものであるが、この強度を左右する主な因子とそれらの相互関係、ならびに外管と内管との間の応力伝達機構に関するいくつかの知見を得たのでここに報告する。

2 実験概要

押抜きせん断強度を左右する因子を求めるための実験（以下、シリーズ1）と外管と内管との間の応力伝達機構を把握する実験（以下、シリーズ2）とを行つた。

シリーズ2の载荷状況およびひずみゲージ貼付を図1に例示するが、シリーズ1の载荷も同様に実施した。まずシリーズ1では、実験ケースが膨大な数になるのを避けて鋼管の断面を一定（内管 $\phi 216.3\text{mm} \times t 8.2\text{mm}$ 、外管 $\phi 267.4 \times t 6.6$ ）とし、表1のごとくa) 注入モルタルの種類、b) 鋼管の表面状態、c) 付着長の3因子を選定した。ついで各々の因子に対し3水準について直交表に基づく各因子、水準のわりつけを行つて合計27体の実験体を準備し、モルタル注入後水中で28日間養生した後、载荷実験を行つた。

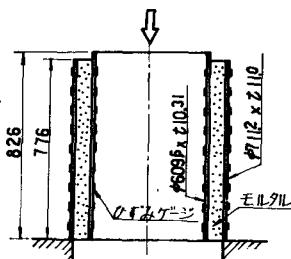


図1 载荷状況

シリーズ2では、図1のように内外管の軸方向および円周方向にひずみゲージを貼付し、養生期間中、モルタルの膨張による鋼管のひずみ変動を測定し、28日後に押抜きせん断実験を行つた。

またシリーズ2では、鋼管の表面はシリーズ1で最も高い強度を示したものとほぼ同様の有錆状態とし、注入するモルタルとして、普通モルタルとモルタルAの2種、注入条件として、空气中注入、水中注入の2種、合計4種類の条件に対して実験を行つた。なお、各シリーズで使用したモルタルの状況 28日における圧縮強度、せん断強度を表2に示す。

表1 選定した因子と水準(シリーズ1)

因子	水準	0	1	2
鋼管の表面状態		油膜付き	無 錆	有 錆 (Fe_2O_3 $\alpha\text{-FeOOH}$ $\gamma\text{-FeOOH}$) 0.11~0.13 mm
注入モルタル		普通モルタル	モルタル A (膨張率 11%)	モルタル B (膨張率 14%)
付着長		50 mm	275 mm	500 mm

3 実験結果と考察

1) 押抜きせん断強度を左右する因子とそれらの相互関係

シリーズ1の結果に基づいて考察する。まず、全実験体とも内管の外表面において、鋼管とモルタルとのすべりが生じることににより、最大荷重が決定した。したがつて、押抜きせん断強度としては最大荷重を内管の外表面積で割つた値を用いることとする。最も高い強度を示したのは鋼管表面が有錆でモルタルAを注入した場合であつたが、

表2 注入モルタルの強度

	モルタルの種類	条 件	強度(kg/cm^2)
圧縮強度	普通モルタル	20℃水中	487
	モルタルA	28日養生	443
	モルタルB		217
せん断強度	普通モルタル	20℃水中	36
	モルタルA	28日養生	31
	モルタルB		20

付着長の増加に伴って単位面積当りの強度は低下する傾向を示した。結果の1例を図2示す。

膨張量が最も大きいモルタルBを注入した場合は他のモルタルに比べてさらに高強度を示すものと予想されたが、モルタルAの場合よりも低下した。これは前記表2で示したように、多量の膨張剤によってモルタルの強度が低下し、モルタル内部のせん断破壊が誘発されたためではないと思われる。

また、付着長の増大に伴う強度の低下は、作用外力が一方の鋼管からモルタルを介してもう一方の管へ伝達するときの機構に原因すると思われる。したがってこの問題は、載荷時の鋼管のひずみを測定したシリーズ2の結果(後述)に基づいて考察する。なお、鋼管表面が有錆の場合に比べ、無錆の場合は約40%、油膜があるときは45~60%の強度低下を示した。

つぎに、全実験値を用いて分散分析を行った結果、押抜きせん断強度は注入モルタルの種類によつて最も大きい影響を受け(寄与率46.7%)、ついで鋼管の表面状態(寄与率36.5%)、付着長(寄与率5.1%)によつて左右されること、およびこれらの因子は各々独立に寄与すること、などが明らかとなった。

2) モルタルの膨張による効果

前述のシリーズ1では、有錆管に対してモルタルA(膨張剤11%)を注入したときに普通モルタルに比べて2倍以上の強度を示したが、より実物に近い寸法の鋼管を使用したシリーズ2では、水中注入、空中注入にかかわらず、普通モルタルで約 6.0 Kg/cm^2 、モルタルAで約 2.3 Kg/cm^2 の強度を示した。

そこで、モルタル注入後の鋼管壁ひずみの経時変動をみると、普通モルタルでは変動が微小であるのに対し、モルタルAでは図3に例示したごとく、約7日目までで外管の円周方向に約0.02%の引張ひずみ、内管に約0.015%の圧縮ひずみが生じることがわかった。これより、28日後の外管、内管に作用する支圧力を算出すると、各々、 $1.3.2 \text{ Kg/cm}^2$ 、 $1.0.8 \text{ Kg/cm}^2$ となり、モルタルの膨張による鋼管表面とモルタルとのまさつ抵抗の増大が押抜きせん断強度を著しく増加させる原因であることがわかる。ただし、前述のごとく、膨張剤によつてモルタルの強度が低下するため、最適な膨張剤量の決定には慎重な検討が必要となろう。

3) 押抜きせん断力の伝達機構

シリーズ2において、モルタルAを注入した実験体の内外管の軸方向ひずみ分布を図4に、これを微分して得たせん断力分布を図5に示す。

この図より、外力200トン(最大荷重の60%)までは、せん断力が鋼管の両端付近に集中し、中央部の伝達量が小さいこと、最大荷重点近くでは、中央部での伝達が増大しているが、完全な一様分布状態に至る前に破壊していること、などがわかる。したがって、モルタル充填した2重鋼管の押抜きせん断強度の設定にあたっては、かかる伝達機構を考慮した安全率の割増しが必要となろう。

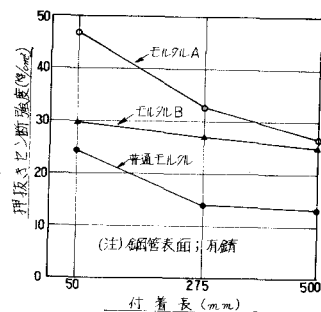


図2 実験結果の1例(シリーズ1)

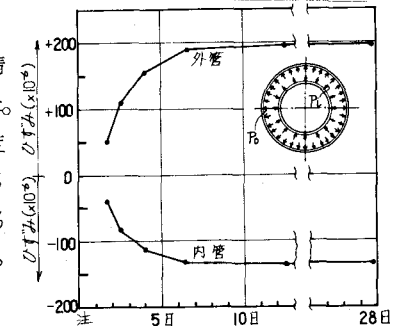


図3 鋼管の円周方向ひずみの変動(シリーズ2, 膨張モルタル)

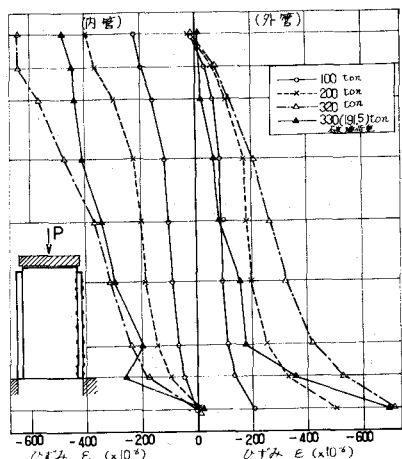


図4 管軸方向ひずみ分布(有錆管, モルタルA)

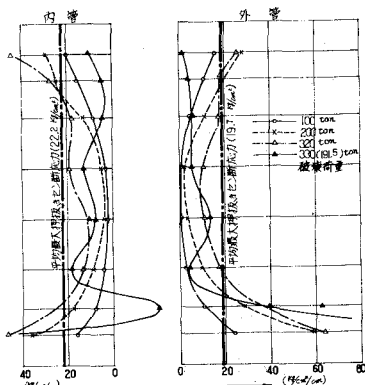


図5 鋼管とモルタルとの間のせん断力分布(有錆管, モルタルA)