

II-158

重防食鋼管用コーティング材に対する淡水水の凍着強度

北海道大学大学院 学 佐々木 広 輝  
 NTT 杉 野 文 秀  
 新日本製鉄（株） 佐 藤 光 一  
 北海道大学工学部 正 佐 伯 浩

1 序 寒冷地の河川、湖沼、貯水池などに建設される構造物において氷盤が凍着して、水位が変動することなどにより、構造物には鉛直方向水力が作用する。このような氷盤凍着に伴う鉛直方向水力により、湖に建設された棧橋や貯水池の取水塔などが被害を受けた例が数多く報告されている。過去の研究より、この凍着強度に与える因子を列挙すると以下ようになる。 1) 構造物材料の表面粗さ 2) 水温 3) 構造物の直径 4) 氷厚 この中で、1) 及び 2) が凍着強度に最も大きく影響する。近年、鋼材の腐食防止に対して、ポリエチレン系やウレタン系の被覆材を巻いて防ぐ方法が開発されているが、これらの被覆材の凍着強度は明らかにされていない。本研究では、淡水水に対する重防食被覆材の凍着強度に関する実験結果を報告するものである。

2 実験 凍着強度の試験方法には図1に示すように、Push Out Test、Pull Out Test、Twist Testが考えられるが、過去の研究より3者の試験方法より得られる凍着強度にはほとんど差がないことが明らかにされているので、今回は試験のし易さからPush Out Testを採用した。試験に用いた重防食被覆材は表1に示す通りである。重防食被覆材を径10cmの鋼管杭に貼つけて試験を行った。更に、比較の為に著者らの行った無処理の鋼管杭、コンクリート杭、砕氷船などに使用されている塗料を塗った鋼管杭に対する凍着強度の実験データも用いている。試験の際の氷厚、杭径、荷重速度は過去の研究結果に基づき決定した。また、水温は $-5^{\circ}\text{C}$ 、 $-10^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ の3種類について行った。

3 結果と考察 凍着強度 $\tau_B$ の算定には以下の式を用いた。

$$\tau_B = P / \pi d h \quad (1)$$

$\tau_B$  : 凍着強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) ,  $P$  : 破壊荷重 ( $\text{kg}$ ) ,

$h$  : 氷厚( $\text{cm}$ ) ,  $d$  : 杭の外径 ( $\text{cm}$ )

各被覆材に対する水温と凍着強度の関係を示したものが図2である。各材料とも鋼より滑らかな材料であるので、鋼の凍着強度よりも小さな値が得られた。また、水温が下がるにつれて凍着強度が大きくなるという傾向がある。しかし、 $-5^{\circ}\text{C}$ では各被覆材とも鋼と較べて凍着強度が小さいということが明瞭にわかるが、 $-10^{\circ}\text{C}$ では明瞭な差がなくなっている材料もある。しかも、過去のコンクリートや鋼に対するデータでは、凍着強度は水温にほぼ比例するという結論が出ているが、今回の被覆材では直線近似が困難なものもある。これら2つに対しては、水温が下がると水の強度が増大して凍着強度が大きくなるが、温度の低下にともない被覆材の性質もある程度変化するためではないかと思われる。次に、凍着強度が小さい低密度ポリエチレンに対して、表面に傷をつけたもの、局所的な傷をパッチで補修したもの、鋼管杭の継目などに用いられるジョイントカバーをつけたもの、それとTダイ、丸ダイのそれぞれについて水温と凍着強度の関係を表し

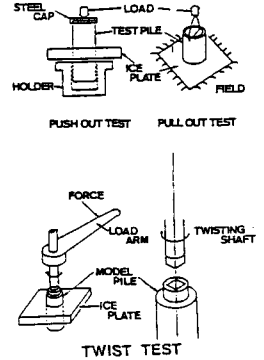


図1 試験方法

| 被覆材           | 丸ダイ      |
|---------------|----------|
|               | Tダイ      |
|               | パッチ      |
|               | ジョイントカバー |
| 低密度ポリエチレン     | —        |
| 高密度ポリエチレン     | —        |
| ウレタンエラストマー    | —        |
| ウレタンエラストマー    | チーキング硬化  |
| 防錆純ウレタンエラストマー | —        |
| ポリエステル        | —        |
| 鋼管            | —        |

低密度ポリエチレン



表1 試験材料

たのが図3である。この図から明らかなように、重防食被覆材でも滑らかでなければ凍着強度がかなり大きくなる。これは、水のブラインが材料の凸凹に入り込み、氷板と構造物が離れる際に氷のせん断力も付加されるためであると考えられる。従って、表面が非常に滑らかで段差のない材料は凍着強度が小さいと言える。今回用いた材料の中で、低密度ポリエチレン、高密度ポリエチレン、ウレタンエラストマーの表面粗さを測定すると、鋼の表面粗さの $1/20 \sim 1/30$ のオーダーであり、各材料ともほぼ等しい表面粗さであった。しかし、図4に示すように、平均波高がある程度小さくなる（ $\bar{h} < 10^{-2} \text{ mm}$ ）と、ほぼ等しい平均波高でも材料によって凍着強度に差が生じている。これは、平均波高が小さくなると、凍着強度に影響を与える因子は凍着強度のみではなく、他の因子にも左右されるものと思われる。そこで、各材料の表面の化学的性質に関して考察を行ってみた。表2に5種類の材料についての接触角、自由表面エネルギー、付着エネルギーを載せてある。付着エネルギー $W$  (erg/cm)は、水（水）の自由表面エネルギーを $\gamma_1$  (erg/cm)、接触角を $\theta$  (°)として以下の式で求められる。

$$W = \gamma_1 (1 + \cos \theta) \quad (2)$$

この表の値と図4を比較すると、耐摩耗ウレタンエラストマーを除いて付着エネルギーの小さいものが凍着強度が小さくなっていることから、表面が非常に滑らかになってくると付着エネルギーが大きいほど、即ち、式2より接触角が小さいほど凍着強度を小さくすることが出来ることが判った。耐摩耗ウレタンエラストマーについては、ウレタンエラストマーに耐摩耗性を良くするために他の物質を混入してあるので、表2ではよい値が得られているが凍着強度が大きくなってしまったものと思われる。

#### 4 結論 以上より以下のことが判った。

- 1) 各被覆材に対する淡水水の凍着強度が明かとなった。また、これらの材料は凍着強度を低下させる効果があることも明かとなった。
- 2) 各被覆材に対する凍着強度は、水温に依存することが明らかになり、水温低下と共に凍着強度は大きくなることが明らかになった。
- 3) 凍着強度は、同一の試験材料では、表面の平均波高が $\bar{h} > 10 \mu$ の範囲では平均波高が大きくなると凍着強度は大きくなり、 $\bar{h} < 10 \mu$ では、表面粗さより材料の化学的性質に依存するものと考えられる。

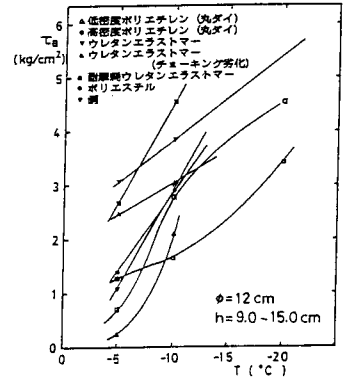


図2 水温と凍着強度の関係

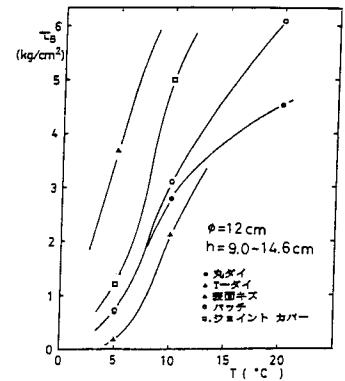


図3 水温と凍着強度の関係  
(低密度ポリエチレン)

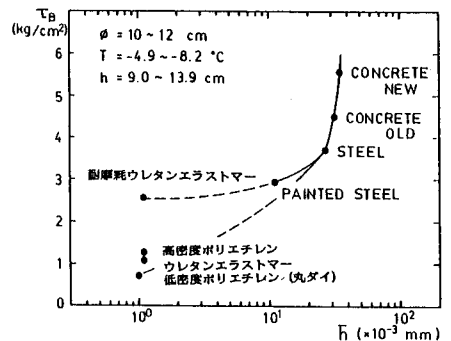


図4 平均波高と凍着強度の関係

|               | 接触角<br>(°) | 自由表面エネルギー<br>(erg/cm) | 付着エネルギー<br>(erg/cm) |
|---------------|------------|-----------------------|---------------------|
| 低密度ポリエチレン     | 65         | 33.2                  | 155.1               |
| ウレタンエラストマー    | 65         | 39.0                  | 155.1               |
| 耐摩耗ウレタンエラストマー | 65         | 39.0                  | 155.1               |
| 高密度ポリエチレン     | 88         | 35.0                  | 112.8               |

表2 材料の性質