

運輸省港湾技術研究所 正員 工博 赤塚 雄三

1. まえがき

鋼矢板岸壁や護岸の定着に用いるタイロッドは一般に単純な引張材として設計されているが、実際には鋼矢板に対して若干傾斜して定着される場合が多く、また、施工時には垂直に定着されても、矢板や控え壁の不昇沈下あるいは裏込材の圧密沈下等によって、タイロッドが矢板に対して傾いた状態になることも珍らしくない。施工例についての調査結果¹⁾では傾斜角が15°程度に達していたと推定された例もある。このような状態では、タイロッドの定着部は引張荷重と共に曲げ荷重を同時に受けることになり、これが原因で破断した例もあり、特に高張力タイロッドは概して伸びが小さく事故例も少なくない。そこで、港湾工事で需要の増加している高張力タイロッドを取上げ、一連の試験を行なってその曲げ引張特性を検討した。引張荷重と共に曲げ荷重を受けるタイロッド定着部の強度は曲げ角度の増加と共に減少するが、強度減衰の程度は鋼材の材質、ねじの加工方法およびねじの寸法とも関係あるものようである。なお、本研究は日本タイロッド工業株式会社との共同研究として行なわれたものである。

2. 試験片の製作

タイロッド試験片の素材N材およびD材はそれぞれA、B製鋼会社の高張力鋼タイロッド用として開発されたもので、他に比較材としてA社のSS41を用いた。これらの材質試験結果は表-1に示した通りで、N材およびD材の保証降伏強度はそれぞれ45% σ_{ms} および75% σ_{ms} である。試験片はいずれも $\phi 32$ mmの丸棒素材(圧延のまま)を用い、その両端部を $\phi 39$ mmにアップセットしたのち焼準し、次いで所要寸法のねじを切削した。転造ねじの場合には一度アップセットした部分を所要の寸法まで削り落してからねじを転造したが、これは切削ねじとの比較のため、熱処理条件を一定とするためである。焼準条件はN材について880°C X 90 min、D材については870°C X 40 minである。ねじはタイロッド一般に用いられているJIS ユニット並目ねじとし、呼び径を1/4, 1/8, 1/2 in. の3種に変えてその影響を調べた。また、転造ねじと切削ねじを比較するため、N材については1/4 in. を、

表-1 タイロッド素材の材質試験結果²⁾

材質	寸法 (mm)	化 学 成 分 (%)								引 張 試 験				曲げ 試験
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	降伏強度 (% σ_{ms})	強度 (% σ_{ms})	伸び (%)	絞り (%)	
SS41	$\phi 32$	0.18	0.24	0.46	0.009	0.018	0.04	—	—	27	44	39	—	1.5 ϕ 良 180°
N 材	$\phi 32$	0.34	0.51	1.76	0.019	0.026	0.06	—	—	53	81	28	—	2.0 ϕ 良 90°
D 材	$\phi 32$	0.38	0.37	1.46	0.013	0.011	0.27	0.05	0.50	51	77	20	34	—

注) 製鋼会社の試験値、引張試験結果はSS41とNについては3号試験片、Dについては4号試験片を用いた値である。
表-1に示した材質試験用の試験片は曲げ引張試験に用いた試験片とは別途に焼準した。NおよびD材の焼準強度はそれぞれ850°Cおよび880°Cであった。

注) 赤塚 他、"高張力鋼タイロッドの使用法に関する調査研究" 港湾技術研究所報告に発表予定

D材については $1\frac{3}{8}$ inを製造ねじとし、残りを切削ねじとした。ねじの諸元を表-2、タイロッドの材質とねじの種別および呼び径の各グループごとの素材の試験結果を表-3に示した。試験片は表-3に示した7種の試験グループのそれぞれについて24本とし、同一の試験条件に対して2~3本の試験片を用いた。試験片の形状寸法は図-1、2に示した通りである。

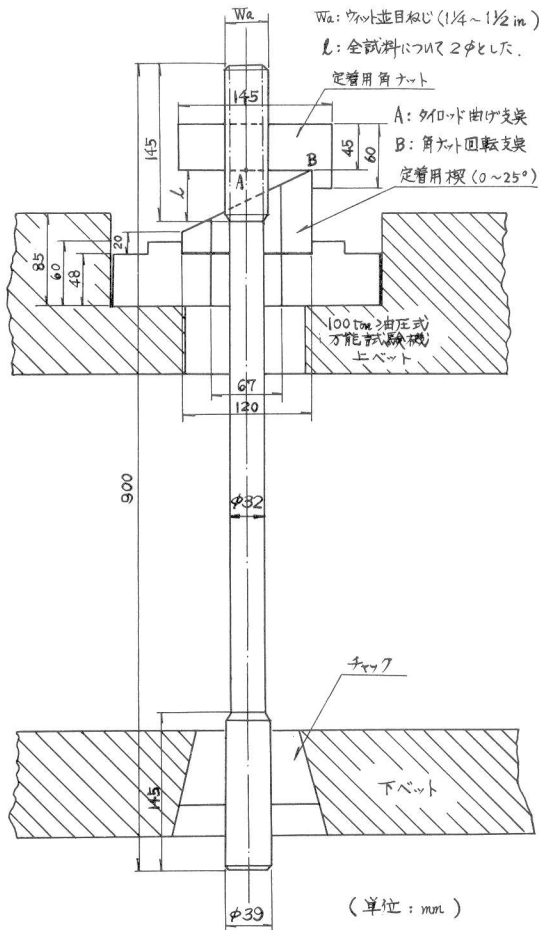


図-1. 楔定着によるタイロッドの曲げ引張試験方法

表-2 JIS ユニタリねじの諸元

呼び径 (in)	おねじ			有効径 (mm)
	外径 (mm)	谷の径 (mm)	谷の断面積 (cm ²)	
W 1 1/4	31.750	27.102	5.766	29.426
W 1 3/8	34.925	29.503	6.833	32.214
W 1 1/2	38.100	32.678	8.383	35.389

表-3 試験条件の組合せと素材の引張試験結果^{注)}

材質	ねじ		降伏強度 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)	繰り (%)
	種別	呼び径				
SS41	切削	W 1 1/2	27	42	31	66
N材	製造	W 1 1/4	50	75	26	41
	切削	W 1 3/8	46	75	15	55
	切削	W 1 1/2	46	75	16	54
D材	製造	W 1 3/8	56	85	21	50
	切削	W 1 3/8	55	85	22	49
	切削	W 1 1/2	56	84	21	48

注) 成形したタイロッド試験片のアプセットした両端部を切断除去し、3号試験片として引張試験に供した。試験値はいずれも2個の試験片の平均値。

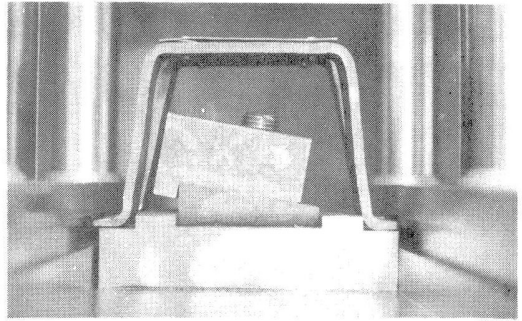
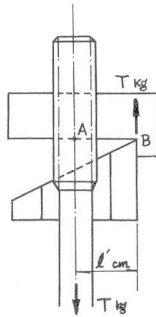


図-2. タイロッド試験片の一例

3. 曲げ引張試験方法

曲げ荷重と引張荷重を同時に載荷するため図-1に示した要領で、角度 $0 \sim 25^\circ$ ($5^\circ \sim 25^\circ$ の間は 2.5° 刻み)の定着用の楔を介して試験片を装着して引張荷重を加えた。載荷当初には楔のたけ定着用の角ナットが試験片のねじ部を固定した状態で図-3の点Bを支点として回転し、試験片の点AにはTとなる曲げモーメントと共にTとなる引張荷重が作用する。Tを次第に増加すると角ナットは次第に傾き、遂には楔の傾斜面と密着して図-4に示した状態になる。試験片の載荷状態は角ナットが楔面と密着する以前と破断直前ではかなり異なり、密着以後の点Aを含む断面には密着時に最大となつた

曲げモーメントと共に引張力およびせん断力が作用することになる。



4. 試験結果

本実験では (i) 密着荷重 (定着用角ナットが楔面に密着するまでに要した荷重), (ii) 降伏荷重と破断荷重, (iii) 荷重～歪曲線, 図-3 初めの載荷状態

図-4 角ナットが楔面と密着した状態

(iv) 伸び (主幹部とねじ部) と絞り、等について測定したが、本文では密着荷重と破断荷重についてのみ報告する。図-5 は楔角度と密着荷重の関係を図示したものである。図-6 と7に、楔定着による主幹部とねじ部の破断の状況を例示した。表-4はこの破断荷重を表示したもので、図-8はこれをもとにして楔角度と引張強度比との関係を示したものである。ここで、引張強度比は次式により定義した値である。

$$\text{引張強度比}(\%) = \frac{\text{楔定着の破断荷重} \times 100}{\text{正常定着(楔角度} 0^\circ \text{)の破断荷重}}$$

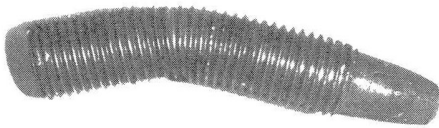


図-6 主幹部破断の一例

SS41 材, $W 1\frac{1}{2}$, 切削ねじ, 楔角度 25°

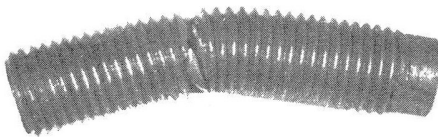


図-7 ねじ部破断の一例

N 材, $W 1\frac{3}{8}$, 切削ねじ, 楔角度 25°

5. 結果の検討と結論

(i) 密着荷重について

図-3 において点 A を含む断面に作用する引張応力度 σ は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{4T}{\pi d^2} \pm \frac{32Tl}{\pi d^3}$$

$d = 32 \text{ mm}$, SS41, N, D の

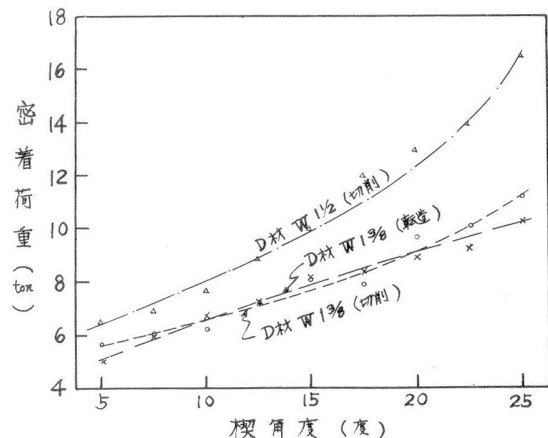
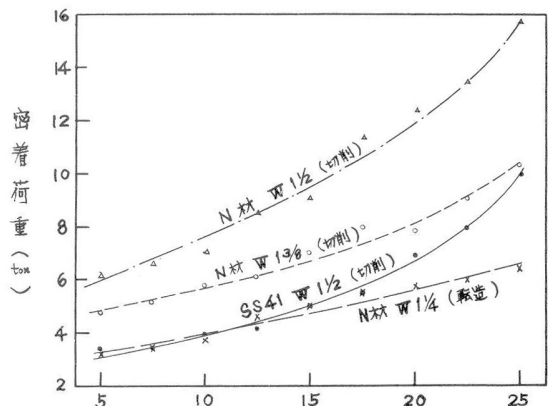


図-5 楔角度と密着荷重との関係

降伏点をそれぞれ、27, 50, 55 %^注として σ に代入するとこれに対応する T はそれぞれ、1.36, 2.51, 2.76 tonである。定着荷重の実測値は図-5に示したように楔角度によって変化し、楔角度5°の最小の場合でも上述の降伏荷重の2倍程度であり、定着断面の一部は塑性化していることを示している。タイロッド定着部において5°程度の変形は一般に起り得ることであり、設計でも塑性化について検討を要する。

(ii) ねじの呼び径について

切削ねじ、鍛造ねじのいずれも谷径のタイロッドの素材径を下廻る場合には正常定着でもねじ部で破断し、その強度は素材強度を5〜20%下廻っている。これより、ウィット並目ねじを用いる場合の定着部の設計計算に谷の径を用いる従来の方法は適当と思われる。

(iii) 材質の影響について

定着部の引張強度は楔角度の増加に応じて減少し、その割合は材質によって著しく変化する。SS41材では25°でも2%程度に過ぎないが、N材ではSS41材と同等な範囲は15°までで、25°では正常定着の85%程度まで減少する。D材ではこれが一層顕著となり、25°では50%程度まで減少する。このような相違は主として材質の差に因ると思われる。

(iv) 許容応力度について

港湾技術基準(案)はタイロッドの許容引張応力度として保証降伏点の40%(常時)と60%(地震時)を採用している。定着部の曲げ変形の限界を15°、その時の引張強度低下の下限界を保証引張強度の50%程度(本実験では80%程度であるが、15°で50%程度まで低下した事例がある^注)と仮定すると、上記基準は曲げによる定着部の強度低下を考慮した時の破断荷重に対して2程度の安全率をもつ。この値自体はほぼ適当なものと思われるが、このような状態では定着部はかなり塑性化していると推定されるので、これを考慮した設計計算が必要であろう。

表-4 楔定着によるタイロッドの曲引張破断荷重(ton)

材質	SS41	N 材			D 材		
		種別	切削	鍛造	切削	鍛造	切削
ねじ	呼び径	W 1 1/2	W 1 1/4	W 1 3/8	W 1 1/2	W 1 3/8	W 1 1/2
素 材		33.9	60.2	59.8	69.9	68.4	67.5
	0	33.8	*49.5	*57.1	59.8	*66.8	*65.2
	5	33.7	*49.0	*56.3	58.8	*67.2	*64.3
	7.5	33.6	*49.0	*56.9	58.9	*66.9	*64.4
	10	33.6	*49.4	*57.1	58.6	*66.4	*62.5
楔 角 度 (度)	12.5	33.3	*48.8	*56.0	59.0	*64.0	*54.9
	15	33.6	*47.9	*56.6	59.3	*62.7	*55.2
	17.5	33.6	*46.7	*53.5	*58.2	*59.1	*49.6
	20	33.6	*44.5	*50.6	*56.0	*57.6	*37.9
	22.5	33.5	*43.9	*50.6	*53.8	*53.7	*37.9
	25	33.2	*42.0	*45.1	*49.7	*52.2	*31.7

注) 試験値はいずれも2〜3個の試験片の平均値。
*印はねじ部で破断した。

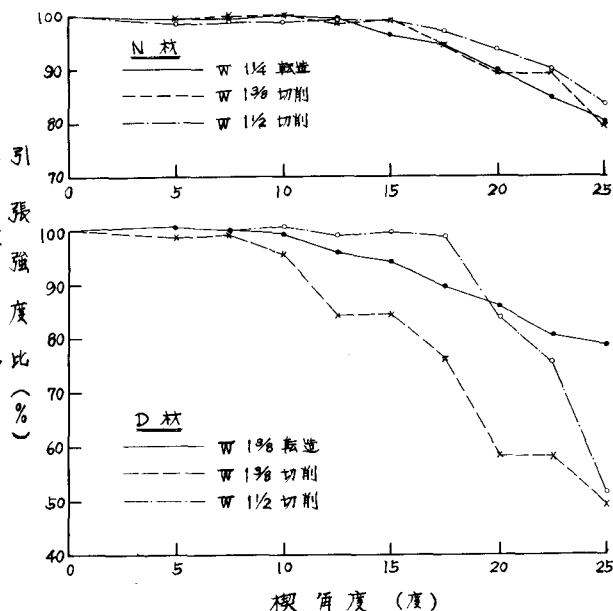


図-8 楔角度と引張強度比の関係