

神戸大学工学部 正会員 西村 昭
 神戸市港湾局 正会員 島田喜十郎
 三菱重工業長崎研究所 今村 成雄
 三菱重工業神戸造船所 ○正会員 湯治 秀郎

1. まえがき

最近の鋼橋、高尺建築物等において、その部材の現場継手は、ほとんど高カボルト摩擦接合の使用が常識化してきている。しかしその施工面の管理という観点からすると、摩擦面の処理、温度差によるトルク係数の変化、ボルト孔径の差等問題となる事項が多い。ここではこれらの中から摩擦面の処理と、ボルト孔径の差の問題を取出し、摩擦面の処理状態を4種類、ボルトの孔径を2種類と変化させたもの、この外に平滑材を含めその静的引張強度、動的引張強度（疲労強度）を求め比較を行っている。

2. 供試材料と試験片

試験片に使用した鋼板はSS41（耐候性）で、その機械的性質は、表-1に示すとおりである。なお、高カボルト、ナットは、F9TでW⁷/₈を用いた。

表-1 母材の機械的性質

材質	板厚 (mm)	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	屈曲 (180°)	衝撃値 (0°C, kg-m)
SS41 (耐候性)	9	30.5	45.0	28.5	Good	3.8
	16	28.9	47.7	26.0	Good	7.3

試験片の形状寸法は、図-1~4に、摩擦面の処理条件、孔径、試験片数などは表-2に示すとおりである。

表-2 試験片の表面処理条件

符号	試験片の摩擦面の状態	ボルト孔径	試験片数
S-1	ショットブラスト後そのまま	23.5	3
D-1	ショットブラスト後そのまま	23.5	(12)
S-2	ショットブラスト後ウツシクワイク塗布	〃	3
D-2	ショットブラスト後ウツシクワイク塗布	〃	(12)
S-3	ショットブラスト後そのまま	33.5	3
D-3	ショットブラスト後そのまま	33.5	(5)
S-4	ショットブラスト後亜鉛アルメタリオン	23.5	3
D-4	ショットブラスト後亜鉛アルメタリオン	23.5	(5)
S-5	〃	33.5	3
D-5	〃	33.5	(5)
S-6	ショットブラスト後6ヶ月放置	23.5	3
D-6	ショットブラスト後6ヶ月放置	23.5	(5)
D-7	母材（平滑材）	—	(5)
D-8	〃（穴あき材）	23.0	(5)

S：静的引張試験

D：疲れ試験（）は疲れ試験片の数を示す。

高カボルトの締めつけは、トルク係数0.128、軸力17.0ton、トルク47.9kg-mで行なった。

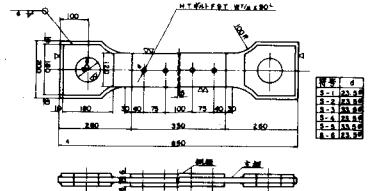


図-1 引張試験片形状

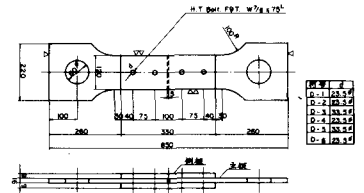


図-2 疲れ試験片形状

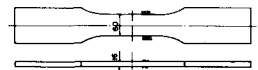


図-3 母材平滑試験片



図-4 母材穴あき試験片

3. 静的引張試験

試験は、200 ton アムスラー式万能試験機を用い、試験片に引張荷重を2~5 ton ごとに増加し、主板と側板間にすべりが生じ始める時の荷重、およびすべり量、ならびに破断荷重を計測した。すべり荷重の測定は、負荷中に試験機の荷重指針の指示値が急激に低下し始める時の値を読み取り、これをすべり荷重 P_s とした。すべり量の計測は、図-5 に示すとおり、主板と側板にダイヤルゲージ2個を取りつけこれらによった。破断荷重は、すべり量の計測後、試験片が分離破断するときの荷重をとった。結果は表-3 に示した。

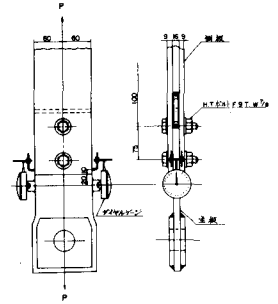


図-5 ダイヤルゲージ取付詳細

4. 引張疲れ試験

疲れ試験は、図-2 に示す試験片につき、室温で、下限応力 $0.3 \sim 0.5 \text{ kg/mm}^2$ の片振り引張り荷重により行なった。試験機は、容量 50 ton の油圧式疲れ試験機で、繰返し速度は 400 C.P.M (6.6 Hz) とした。試験では、ボルトで締めつけた主板と側板の接触面がすべり始めるときの動的すべり荷重、および疲労強度を求めた。

すべり量の計測は、図-6 に示すように、試験片中央の主板突合せ側に直径 80 mm のリング形変位計を取りつけ、この出力を増幅器を介して直記式電磁オシログラフに記録させた。また、所定の試験荷重を設定する前に大部分の試験片には初期すべりを生じ、そのすべりが発生したときの最大荷重をオシログラフから読み取り、これを動的すべり荷重 P_0 とした。疲労強度としては、繰返し応力度 $\bar{\sigma}_n$ と、破断までの繰返し数 N_f との関係を求めた。試験の結果は表-4 に、 $\bar{\sigma}_n - N_f$ 線図は図-7 に示した。

5. 考察

5-1. 静的引張試験

(1) すべり係数 M_s

すべり係数は、引張試験において第1回目すべり発生時の最大荷重から求め、その結果は表-3 に示したとおりである。この結果からは表面処理の影響が最も大きく、ついでボルト孔径を変えた場合である。

表面処理の影響をすべり係数について比較すると、ショットブラストしたままのものに対して、亜鉛アルミニウムメタリコンが 1.28 で最も大きく、ついで6ヶ月放置した場合の 1.18 であった。

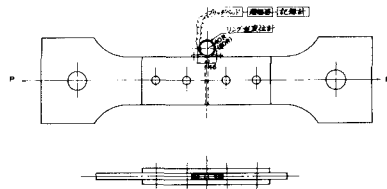


図-6 すべり変位計取付詳細

表-3 静的引張り試験結果

序号	すべり荷重 P_s (Ton)	すべり係数 M_s	破断荷重 P_b (Ton)	S10対比 M_{s10}	表面処理条件
S-1-1	32.50	0.479	74.75		1) ショットブラスト
	39.00	0.574	77.00	1	2) ボルト孔径 23.5φ
	34.20	0.505	74.70		
S-2-1	19.30	0.284	77.30		1) ショットブラストのみの場合
	22.50	0.331	76.30	0.6	2) ボルト孔径 23.5φ
	21.60	0.312	74.60		
S-3-1	29.80	0.438	61.00		1) ショットブラスト
	26.60	0.391	58.10	0.81	2) ボルト孔径 33.5φ
	29.50	0.434	58.40		
S-4-1	45.00	0.662	66.50		1) ショットブラストのみの場合
	45.00	0.662	66.76	1.28	2) ボルト孔径 23.5φ
	45.00	0.662	66.80		
S-5-1	42.40	0.624	61.60	1.20	1) ショットブラストのみの場合
	42.50	0.625	61.00	1.092	2) ボルト孔径 33.5φ
	42.50	0.625	62.50		
S-6-1	39.50	0.581	68.40		1) ショットブラストのみの場合
	41.00	0.605	69.30	1.18	2) ボルト孔径 23.5φ
	44.90	0.661	68.10		

(1) の P_s と M_s の数値は S-4 の M_s と 1.28 の場合。

表-4 疲れ試験結果

序号	動的引張荷重 P (Ton)	繰返し応力度 $\bar{\sigma}_n$ (kg/mm ²)	繰返し数 N_f (Cycle)	すべり荷重 P_0 (Ton)
D-1-1	25.0	1.6	3.50×10^6	計測せず
	45.0	2.96	4.72×10^6	計測せず
	50.0	3.29	9.69×10^5	計測せず
	55.0	3.62	6.40×10^6	38.8
	52.0	3.42	5.00×10^6	37.5
D-2-1	45.0	2.96	4.20×10^6	計測せず
	35.0	2.00	2.52×10^6	26.2
	40.0	2.63	1.98×10^5	23.8
	45.0	3.29	2.34×10^6	25.4
	50.0	2.47	9.29×10^5	26.8
D-3-1	48.0	3.46	1.13×10^6	計測せず
	48.0	3.46	4.40×10^6	29.9
	44.0	3.18	7.30×10^5	30.7
	40.0	2.89	1.10×10^6	31.8
	41.5	3.00	9.72×10^5	29.9
D-4-1	55.0	3.56	2.87×10^6	計測せず
	50.0	3.24	5.93×10^5	30.0
	47.0	3.05	3.08×10^6	47.0
	45.0	2.91	2.58×10^5	45.0
	45.0	2.91	1.88×10^6	45.0
D-5-1	50.0	3.61	7.61×10^5	50.0
	47.5	3.43	7.80×10^5	44.1
	42.5	3.07	4.98×10^5	42.5
	42.5	3.07	1.38×10^6	42.5
	41.0	2.96	6.35×10^5	41.0
D-6-1	46.5	3.01	3.27×10^6	36.0
	44.0	2.85	2.72×10^5	36.0
	41.5	2.69	2.33×10^6	36.0
	40.0	2.59	4.21×10^5	36.9
	37.5	2.43	1.90×10^6	35.2

> 繰返し数が 2×10^6 以上で破断したものは、 σ の n 部を破断したものとす。

また、最も小さいのがウオシユプライマーを塗布した場合の0.6であった。

ボルト孔径の影響は、主板のボルト孔径 23.5 mm 中の場合の Ms を 1 とすると、孔径 33.5 mm 中の場合で亜鉛アルミニウムメタリコンしたものは 0.95、ショットブラストしたままであれば 0.81 であった。これらの結果は図-8 に示したとおりである。

(2) すべりの発生状況

静的すべりの発生状況は、摩擦面処理条件およびボルト孔径の差によって異なる傾向を示した。これらは第1回目のすべりが発生してから、その後はすべり現象が全然表われないものから、最も多いものでは約80回程度小さきごみに微小なすべりが発生するものもあった。とくにボルト孔径を大きくした場合には、ボルト軸部とボルト孔縁とのすき間が大きい

ため、すべりの発生回数も多くなる傾向にあった。試験後の主板摩擦面の状態を観察すれば、亜鉛アルミニウムメタリコンは表面にごく薄い膜面があつて、ボルト締めつけによる面圧がおよぶ範囲には引かき状の焼付き、およびはく離の現象が認められた。また6ヶ月間放置した場合のもので、亜鉛アルミニウムメタリコンほど顕著ではないが、やはり微細な焼きつきの痕跡が認められた。

(3) 破断荷重

試験片が破断するときの引張最大荷重 P_B は表-3 に示し

ているとおりである。この破断荷重に対するボルト孔径の影響は大きく、約10 ton の差があつた。この原因はボルト孔径を大きくしたために、断面積がさらに小さくなったためである。これに対しては側板の長さを長くして、ボルト孔と断面までの断面積を大きくするか、または側板の板厚を増すことによつて破断荷重を大きくすることは可能である。

5-2 引張疲れ試験

(1) すべりの発生状況

繰返し荷重下のすべり現象は、ショットブラストしたまゝのもの、および6ヶ月間放置した場合のものでは、所定の繰返し値に達する前に数回の急激なすべりが発生するが、ウオシユプライマー塗布および亜鉛アルミニウムメタリコンしたものは急激にすべることなく、徐々にすべりが増す。とくに亜鉛アルミニウムメタリコンしたものは、大部分の試験片が所定荷重設定後、ある程度荷重の繰返しを受けたのちにすべりを生じた。この結果からは、すべり発生までの繰返し回数にバラツキが大きく、それと繰返し荷重との関連性を求めるまでにはいたらなかつた。

(2) 疲労強度

疲れ試験の結果は、図-7 に示したとおりである。この結果、高カボルト継手の 2×10^6 回にお

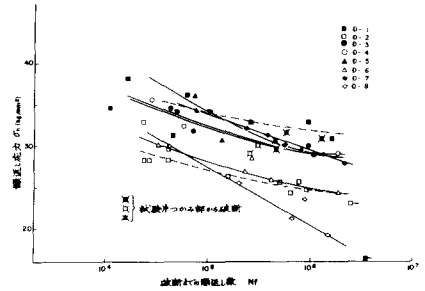


図-7 繰返し応力と破断までの繰返し回数

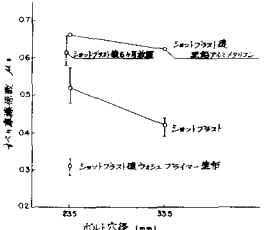


図-8 すべり摩擦係数(静的摩擦試験)

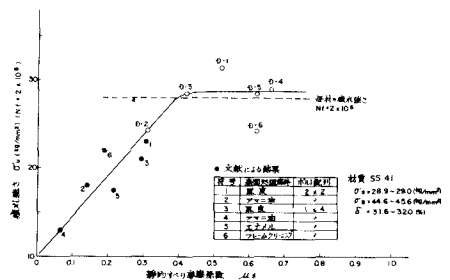


図-9 静的すべり摩擦係数と破断荷重との関係

る疲労強度は、母材の平滑材に比べて、一部の継手を除き同等か、またはそれ以上の強度を有することが明らかとなった。また母材の孔あき材に比べるといずれの継手も優っている。平滑材の疲労強度より低下したのは、ウオシユプライマーを塗布した継手であり、約15%程度の低下率であった。これらの結果から静的すべり係数 M_s と疲労強度 $\bar{\sigma}_u$ との関係について検討すれば図-9のとおりである。¹⁾またこれに文献の結果を●印で示す。この結果から M_s が0.4までは、式(1)で示すことができ、

$$\bar{\sigma}_u = (46M_s + 10) \pm 3 \quad (\text{kg/mm}^2) \quad \text{-----} \quad (1)$$

M_s が0.4以上になれば $\bar{\sigma}_u$ は $28.5 \sim 29 \text{ kg/mm}^2$ で一定なる傾向を示し、その値は母材と同等か、またはそれ以上の疲労強度となる。

5-3 まとめ

静的引張試験、および引張疲れ試験を行なったが、その双方の試験結果をまとめると、次のとおりである。

- (1)静的引張試験によるすべり係数 M_s に及ぼす影響は、表面処理条件による場合が最も大きく、ついでボルト孔径を大きくした場合であった。
- (2)すべり現象は、表面処理条件、およびボルト孔径によってその特徴が異なる。静的には急激なすべりが1回から最も多いので80数回も発生した。また動的には全然発生しないものと、3~4回発生するものとあった。
- (3)疲労強度(2×10^6 回)は、ショットブラスト後ウオシユプライマーを塗布したものと、6ヶ月放置したものを除き、母材の平滑材と同等の疲労強度を有し、また母材孔あき材に比べるといずれの継手も優っていた。
- (4)疲労強度と静的すべり係数 M_s との関係は、 M_s が0.4までは式(1)の実験式が適用され、 M_s が0.4以上になると母材と同等以上でほぼ $28.5 \sim 29 \text{ kg/mm}^2$ の疲労強度になる傾向にあった。

6. あとがき

以上の結果から、施工管理上のいくつかの問題のうち、摩擦面の処理、孔径のくい違い等に対するある一つの方向が示されたように思える。この外に、締めつけ時の温度管理の問題があるが、これも機会を見つけて調査してみたいと思っている。

文 献

- 1). 田島二郎著 “高力ボルト摩擦接合概説”, 技報堂
- 2). 西村, 島田, 古賀, 湯治; 高力ボルト継手の摩擦面の処理状態が疲労強度に及ぼす影響について, 昭和46年度土木学会関西支部年次学術講演概要 I-10, 昭和46年5月