

I-221 過大穴を有する摩擦接合の力学的性状について

神戸大学 正員 西村 昭

(株)春本鉄工所 正員 山 野 繁 行

(株)宮地鉄工所 正員 石 沢 成 夫

1. まえがき 在来、高力ボルト摩擦接合における穴径は、主構造に対しボルトの呼び径に1.5mmを加えた大きさとしているが、最近、過大穴を利用することにより、組立ての作業能率や、精度の向上を期する実例がみられる。すなわち、既設構造物に新材を取り付ける場合、構造物の製作に際して溶接などによる変形量が明確に予測できない場合、あるいは傾斜のきつい直交格子型斜橋で架設時に支保工が十分とれない場合など、過大穴を積極的に利用することにより接合部のボルト挿入を容易にし、組立て能率を向上させることができる。必要に応じて、接合部に部分的に基準穴を設置すれば、能率向上ばかりでなく、寸法精度においてもその効果を十分に発揮できる。しかしながら、過大穴をもつ継手の性状についてはまだ明らかでない点が多く、実験により穴の大きさ、穴縁のズレがなり耐力あるいは疲労強度に及ぼす影響を調査した。

2. 静的試験

2-1. 継手の板厚を一定とした場合

穴縁の高応力部のクリープがボルト軸力の経時変化ひいてはなり係数に影響を与えるといわれる。過大穴とその穴縁のズレが穴縁の応力を変えなり係数を低下させることも考えられる。そこで穴の大きさ、穴縁のズレを変えて実験を行ないなり係数を測定した。

試験片の寸法と種類を図-1に示す。

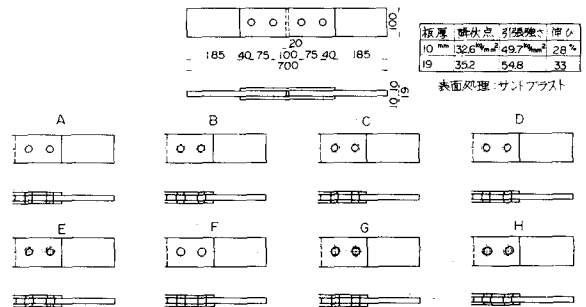


図-1 試験片の寸法と種類(板厚一定の場合)

締付軸力 $N = 17.0 \text{ t}$ 、推定なり係数 $\mu = 0.5$ 、接触面数 $\times$ ボルト本数 $n = 4$ 、鋼材の降伏点 $\sigma_y = 32 \text{ Kg/mm}^2$ とし、母材の降伏前になりが生ずるような寸法として幅 $\times$ 板厚 $= 100 \text{ mm} \times 19 \text{ mm}$ とした。穴径は $W \%$ ボルトに対し通常用いられる $2.3.5 \text{ mm}$ を標準とし、過大穴では $2.8.5 \text{ mm}$ とした。また、試験片の種類は母材と添接板に標準穴をもつ A を標準に、標準穴と過大穴、または過大穴同士の組合せにより B $\sim$ H の 7 種類とした。試験片には固定側と可動側(なりの生じる側)を前もって設定し、なり量の検出を可動側で行うようにした。固定側には F11T を、可動側には F9T を使い、それぞれ標準の軸力を与えた。ボルト軸力はボルト軸に貼付けたワイヤーストレンゲージにより測定した。なり係数は図-2 のようになった。母材と添接板の穴縁の一致した A と F のなり係数 0.72 に対し、穴縁にズレを有するその他の試験片では $0.64 \sim 0.69$ とわずかに低い結果を示

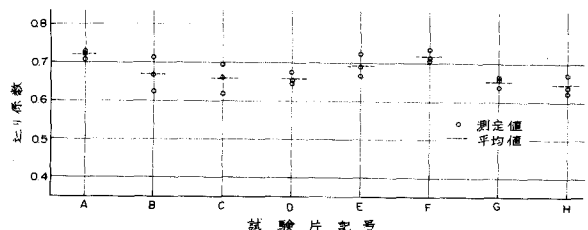


図-2 試験片別なり係数(板厚一定の場合)

した。図-2は締付直後の軸力を基準にしたものであるが、締付軸力は引張試験直前（締付直後より5～6日後）までに軸力の減少があり、これを基準にしたり係数について比較しても同様の傾向を示した。図-3には荷重-たり量の関係を示す。これは比較的差の大きかつたAとHについて示したものである。

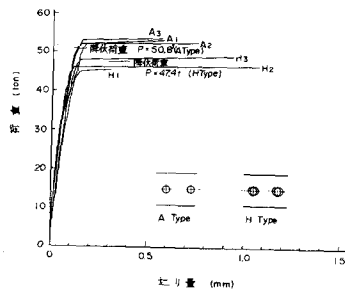


図-3 荷重-伸び量（板厚一定の場合）

2-2. 継手の板厚を変えた場合

過大穴の穴縁のズレが穴縁の応力に変化を与えるなら、その変化は継手の板厚に関係することと考えられる。そこで、過大穴を有する継手の板厚を変えて実験を行ない、ボルト軸力の経時変化およびたり係数を測定した。図-4に試験片の寸法と種類を示すが、板厚を変えサンドブラストをグリットブラストに変えたことを除いては2-1の要領によった。図-4においてA-1、A-2は図-1のAに、B-1、B-2は同

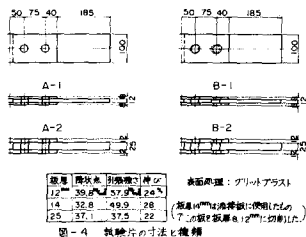


図-4 試験片の寸法と種類

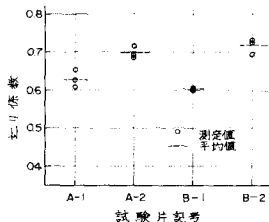


図-5 伸び係数（板厚を変えた場合）

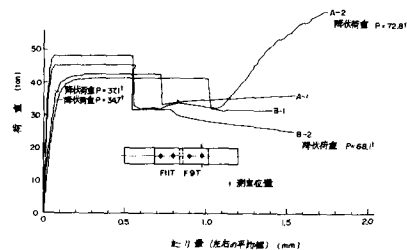


図-6 荷重-伸び量（板厚を変えた場合）

じくHに対応する。たり係数は図-5のようになった。これによれば、板厚による相違は認められるが、標準穴と過大穴（穴縁にズレがある）との間には明らかな相違はない。図-6には荷重-伸び量の関係を示す。薄いものは降伏点を過ぎて次第に伸び量が増し、伸び量が急増するのは厚いものに比べてかなりおくれる。大きな伸びの後、荷重は薄いもので20%、厚いもので30%程度下がるが、その後しばらく荷重の増減はない。このあたりまでは標準穴と過大穴とに大きな違いはない。この測定の範囲では厚い標準穴のもののみが後で荷重を回復している。

2-3. 静的試験のまとめ

現場で高力ボルト摩擦接合を行う場合、軸力（またはトルク値）の管理は締付時に行なわれるのが通常で

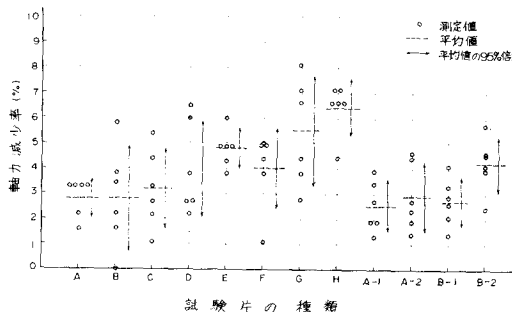


図-7 締付軸力の減少率

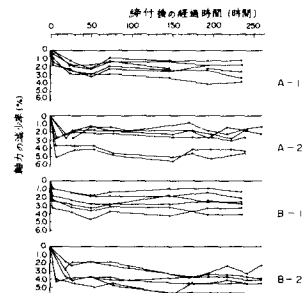


図-8 軸力減少率の経時変化

あるので、締付直後よりの軸力が経時によりどのように変化するかを知ることは重要である。図-7には締付軸力の減少率を示し、図-8には締付後の経過時間に対する軸力減少率の変化の例を示す。軸力減少率のバラツキは大きい。標準穴のA、A-1、A-2に対し、E、G、Hなどの試験片において、やゝ大きく

なっている程度である。またトルク係数には穴の種類、板厚の変化による相違は特に見られなかつた。りり係数について2-1と2-2の試験をまとめ、母材の応力比(りり時の鋼板応力/降伏応力)とりり係数との関係を示すと図-9のようになる。標準のものは応力比1.0付近まではりり係数が変わらない。過大穴でくい違いのあるものは(応力比0.8付近の値がないので不明確であるが)、応力比が1.0よりやや小さ

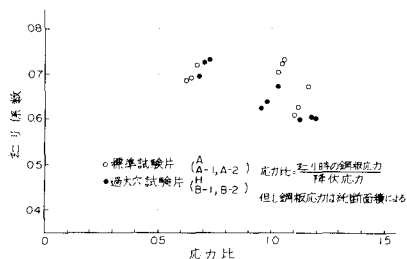


図-9 応力比とりり係数

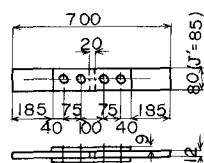
い付近からりり係数が減少するように見られる。また、標準穴、過大穴いずれも応力比1.1付近になるとりり係数の減少は明かとなるが、応力比1.2付近まではりり係数は0.6を下廻ることはない。

なお、2-2の試験は、2-1の試験の補足で、宮地鉄工所研究開発課で社内試験として行ない、あとがきに示す委員会において検討されたものである。

3. 動的引張試験

3-1. 実験概要

標準穴径の摩擦継手に対する今日迄の疲労実験結果で、穴控除率、応力方向のボルト数、継手材片の幅、母材の厚さ、穴縁端距離などが継手材片の疲れ強さに影響することがわかつている。また特別の場合の他は大きなりり抵抗の低下やボルト自身の疲労破断はなく、継手材片の疲れ強さのみを対象としてよいとされている。したがって過大穴についてもこれらのことを考慮に入れて、図-10のように標準穴径のものと、それと同一形状の過大穴の試験片を作り、標準のものととの比較実験を計画した。以下に供試体の寸法、形状、試験要領を示す。試験片の材質はSM50 Aを使用したが生母材(厚さ12mm)の機械的性質は降伏点33Kg/mm²、引張強さ51.7Kg/mm²、伸び2.6%であつた。試験片は側縁機械仕上、ドリル穴明けとし、表面はサンドブラスト、噴射圧5Kg/mm²、砂径60メツシュ1種ケレンとした。試験機は日本橋梁のアムスラー型50t疲労試験機で、下限1.0tの片振で毎分400回とした。過大穴径としては、静的試験に準じて28.5mmとし、ボルト、ナット



タイプ	穴径	穴径	穴径	穴径
I	23	23	23	23
J	25	25	25	25
J'	25	25	25	25
K	28.5	28.5	28.5	28.5

図-10. 試験片形状

表-1. 疲労試験結果

タイプ	単位 Kg/mm ²			
	純振中	総振中	純振中	総振中
	20万	200万	20万	200万
I	38.8	27.9	27.4	19.7
J	39.7	30.5	25.6	19.6
J'	39.1	29.0	26.0	19.3
K	37.2	30.0	24.0	19.3

及び座金は全てJIS W $\frac{7}{8}$ -F9Tを使用、締付軸力は18.3t(一般の標準ボルト軸力は17.0t)としトルクレンチで軸力を与えた。なおボルト締付後から試験直前迄のボルト軸力の減少は、ボルト軸に貼付したワイヤーストレインゲージにより全数について測定した。

3-2. 実験結果と考察

図-11はS-N線図で、表-1は20万回と200万回の片振疲れ強さを、それぞれ純断面と総断面について最小自乗法によつて計算したものを示す。いま総断面についての応力振幅について各シリーズの比較をして見ると、20万回のものではI>J'>J>Kとなり、標準穴のものより過大穴のものが順次低下した値を示し、理論上の期待と一致する。200万回時の振幅については殆んど各タイプの間で差がない。純断面応力振幅についての比較では、50万回以下でKが標準Iよりやや低下し、それ以上では、J、J'、Kの

いづれも標準Iより向上し、繰返し数の多いときには、過大穴のものが有利な結果となつている。過去の実験報告で一般に、穴控除率が大になると純断面について計算した疲れ強さは大になると言われているが、ここでも200万回の応力振幅は $J \approx K > J' > I$ となり、これを裏付けている。またこのことは総断面についての疲れ強さが穴控除率に拘わらず素材の疲れ強さに近づくことを意味し、図-2の総断面についてのS-N線図からも推察し得る。次にJとJ'

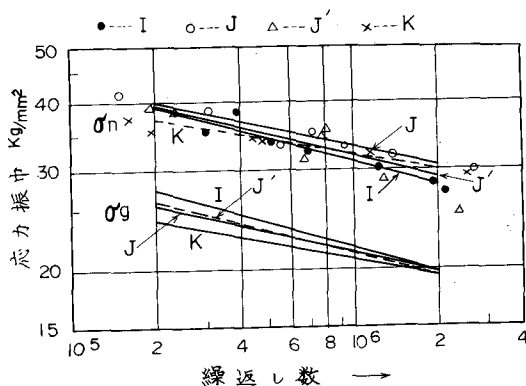


図-11. I, J, J', K S-N 線図

では穴径が等しく板幅を変えたものであるが、繰返し数が多い範囲で、総断面応力振幅は $J' < J$ となり、前述の板幅に関する形状的要因があらわれており、ボルト径と板幅の対比で疲れ強さの向上する最適比が、この試験片幅よりせまい領域にあることを示している。次にボルトの締付直後から引張直前迄(4日~14日)のボルト軸力の平均減少率は $I = 5.3\%$ 、 $J = 4.0\%$ 、 $J' = 5.6\%$ 、 $K = 8.4\%$ で、特にこれが疲れ強さに影響する程のものでないことを確かめた。なお各疲労試験片の静的り抵抗は、条件の等しいA、F、シリーズのり荷重値(45.5t~53.5t)で判断し得るが、疲労上限値の最大でも27.5tであり、繰返し試験中のすべりはないと考えられる。ここで念の為、各穴位置の母材と添接板に、け書き線を付け繰返し破断後にりについて調査したが、破断個所以外はりが生じてなかつたことを確認した。表-2に継手の破断と繰返し数、純断面応力振幅を示す。破断状況の特徴は40万回以下の低サイクル時は完全に破断せず亀裂程度にとどまっていること、高サイクル時は最小断面位置より母材側にずれた位置から破断しており、標準穴のものと過大穴のものに特別な差はみとめられない。

4. あとがき

本実験は現在実用されている規定(両ワツシヤ使用)の高力ボルトF9Tを用い、ボルト径 $\frac{3}{8}$ に対して6.3mm($\frac{1}{4}$)の間隙量をもつ継手の力学的性状を明らかにしたが、静的、動的の両面から考察して標準穴のものと同等に使用出来ることが実用された。たゞ他のボルト径のものに対する間隙量については、ボルト頭径の関数として論ずる説もあり、今後の研究に委ねたい。終わりに本研究は関西道路研究会、道路橋調査研究委員会、鋼橋現場継手小委員会の協同研究によるものである。

- 文献 1) By Allan. R. N., and Fisher. J. W., Journal of the Structural Division. ASCE Vol.94, No. ST9. Proc. Paper 6113. September. 1968.
2) By Shoukry. Z., and Haisch. W. T., Journal of the Structural Division. ASCE Vol.96, No. ST6. Proc. Paper 7349. June. 1970.
3) By R. Spiers. M.S.G. Cullimore. United Kingdom Proc. 3rd Conference on Dimensioning. Budapest 1968.

表-2 疲労破断状況

タイプ	振打回数 10 ⁵ 回	破断 状況
I-1	35.2 29.3	チャック部
2	38.2 39.0	☉
3	33.4 45.7	☉
4	32.2 68.9	チャック部
5	30.1 125.8	☉
6	28.2 195.6	☉
7	27.0 212.9	チャック部
J-1	41.7 15.1	☉
2	38.5 25.5	☉
3	33.6 54.7	☉
4	35.5 73.6	☉
5	32.9 92.5	☉
6	31.8 137.5	☉
7	30.0 268.7	チャック部
J'-1	39.0 19.2	☉
2	37.8 23.6	☉
3	31.4 67.5	☉
4	35.0 78.4	☉
5	35.7 81.4	☉
6	28.4 130.2	チャック部
7	25.5 240.0	破断なし
K-1	43.6 6.1	☉
2	37.2 16.3	☉
3	35.5 19.5	☉
4	34.4 42.5	☉
5	33.8 49.4	☉
6	32.8 117.9	☉
7	29.4 255.4	チャック部