

I-222 高張力鋼の広幅試験結果について

東京大学 工学部 正員 奥村敏恵
 都立大学 工学部 正員 堀川浩南
 阪神高速道路公団 正員 笠戸松二
 阪神高速道路公団 正員 ○水元義久

1. まえがき

阪神高速道路南港連絡橋は大量の高張力鋼を使用した溶接構造物である。一般に溶接構造物においてある程度の欠陥、すなわち製作途上における目違いや溶接による角変形あるいは残留応力、溶接欠陥等は避け得ないものである。一方、70%以上の高張力鋼はその特性の一つとして一般に降伏比が高くかつ一様伸びが小さいことかあげられる。すなわち、HT80等の調質鋼はひずみ硬化の程度が小さく降伏後最高荷重に至るまでの余力が少なく破断に至るまでの伸びも少ない。この一様伸びが小さいことは塑性流れが悪く応力の平均化が余り期待出来ず、局部的な応力集中が構造物の破壊耐力に支配的要素となり、低荷重で破壊する危険性を有する。

そこで高張力鋼を使用した構造物の安全性を評価する場合、上記の特性に対し欠陥と実用とどこまで許し得るかが非常に重要な問題となる。今回、下記のような施工基準と施工誤差を許容するとした場合、この許容する条件のもとで施工した構造部材が使用条件に対し安全かを以下により確認した。

- (施工誤差および変形の条件)
- a. 目違い ----- 板厚の10%以内かつ3mm以内
 - b. 角変形 ----- 1000mmスパンに対し10mm以下

2. 試験概要

供試材の材質はHT80を用いて試験を行ないその結果でHT70以下の材質を評価して充分安全と考へ、HT80を用いた。基本的な試験片形状は図-1に示される形状のものでした。供試材の最大板厚は南港連絡橋の引張部材の最大板厚にほぼ合わせるとともに、試験片の幅Bと板厚との関係は $B/t \geq 10$ 程度以上確保するため63mmとした。各板厚の試験片とも同様であるが、その溶接入熱量はサブマージアーク溶接で40,000J/mm ~ 50,000J/mm、MIG溶接で20,000J/mm ~ 30,000J/mmと実橋の施工条件と合わせ、使用溶接強度は80%程度のものをを使用した。

(1). サブマージアーク溶接とMIG溶接の比較 (Type-1)

本試験における最大板厚63mm材についてサブマージアーク溶接とMIG溶接の各々により突合せ溶接施工されたものの試験を行ない、溶接法の相違が破壊性状へ如何なる影響を与えるかを調査した。試験温度はこの橋梁が経過するであろう最低温度の-10℃と安全側の余裕を確保するため-35℃とした。突合せ溶接の余裕は削除せずそのままとする。試験片は溶接のままの状態に試験に供し、SR等の応力除去は行ないものである。

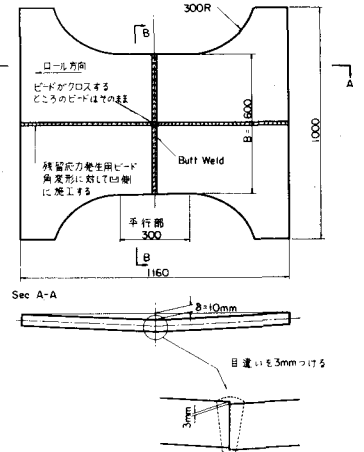


図-1 63mm試験片形状

(2) 板厚効果試験 (Type-1)

限られた試験片により全体を評価する目的には従来他の構造物を対象として行なわれてきたこの種の試験との比較を容易にするためType-1により板厚を変化させ、試験温度を固定して試験を実施した。

(3) 低応力破壊発生限界の調査 (Type-1)

板厚効果試験と同様に低応力破壊発生限界に関し2の従来のデータとの比較を温度の軸に対して関連づけておく必要がある。そこで、板厚を38mm, 50mmの2つに固定し、試験温度を-40℃より-100℃の向変化させて試験を実施した。

(4) 残留応力の影響調査 (Type 2, 3, 5)

実構造物は箱断面形成のためのカド溶接およびリブのスミ肉溶接が施されるが、これらの溶接により生ずる残留応力の影響を調査した。Type-5のようなたこビードなしの試験とType-1, 2, 3に示すように残留応力発生用ビードの設置法を変化させ残留応力の分布を変化させてこの試験とを比較し、その影響を調査した。板厚は38mm, 試験温度は-10℃と固定して行う。なお、残留応力発生用ビードは図-3の要領で施した。

(5) 横収縮拘束の調査 (Type-4)

実構造物においてはフランジ、ウェッジが互に干渉し合ったり、あるいは格条部においてダイヤフラムの影響等により横方向の収縮が拘束され応力多軸化の様相が他の場合と異なることが予想される。そこで図-2のType-4に示されるように不等厚の突合せ溶接を行ない厚い方の鋼板を弾性域におき、薄い方の鋼板を塑性化し破断させ、横収縮拘束の影響を調査した。

3. 試験結果および考察

(1) 板厚の効果について

破壊発生特性に及ぼす板厚の効果は従来板厚40mm程度で飽和すると云われている。一方本試験結果は図-4の如く、板厚の効果は大きく板厚50mmでの破壊応力、破面率および伸びの低下が見られる。しかし、この伸びの降伏点以上の高応力破壊であること、および試験片の角変形も、目違ひが異なることから板厚の効果は本図より云々出ない。また図-6から38mmと63mmの破壊応力および破面の遷移挙動を見ても角変形、目違ひが異なるため板厚の効果を探みとることは出ない。

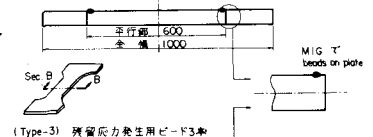
(2) 低応力発生限界について

図-6は試験結果を試験温度と破壊応力、靱性破面率との関係と整理したものである。図-4の本図より十字溶接により残留応力を附加した試験片の低応力破壊発生限界温度は38, 50mm共に-10℃~-20℃であり、また溶接残留応力付加ビードなしのものは-30℃であることが判る。一方、南港連絡橋の通過すると思われる最低温度は-10℃であることから本試験の図-6からは充分安全サイドに低応力破壊発生限界温度があるとは云えない。しかし本試験の角変形、目違ひがそのおのり15~30mm/1mスパン、

図-2 大連試験片形状一覧

試験片Type	試験片形状
Type 1	
Type 2	
Type 3	
Type 4	
Type 5	

(Type-2) 残留応力発生用ビード2本



(Type-3) 残留応力発生用ビード3本

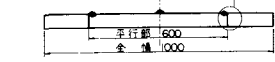
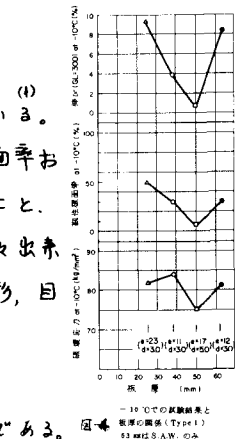


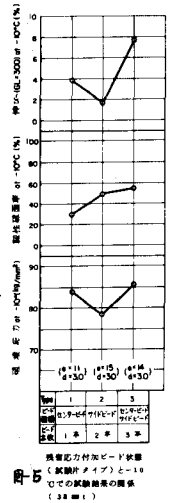
図-3 残留応力発生用ビード



2.5~5.5mm であった事から考えると実際施工基準である角変形量10mm/1mスパン、目違113mmの場合ではこの温度より安全側(低温側)にシフトすることが予想される。

(3) 溶接残留応力の影響

38mmの溶接残留応力付加ビードの影響は図-6より約10℃と見ることが出来る。この値は従来の結果に比し小さい値であるが角変形が異なる影響が考えられる。図-5に溶接残留応力付加方法の差を示す。三軸応力度と溶接残留応力分布から理論的には最も低応力破壊を起し難いと考えられるType-2に破壊応力および伸びの低下が認められる。ただし、いつれの試験片でも-10℃では降伏点以上の高応力破壊であることから溶接残留応力付加方法の差は明らかでない。



(4) K値による整理

それぞれの試験片の角変形量、目違11が等しくなることから前述のように板厚効果および溶接残留応力の影響が明らかでない。また角変形10mm/1mスパン、目違113mmと云う実際施工基準での低応力破壊発生限界温度が本橋の最低使用温度-10℃に対しどの程度安全サイドにあるかを推定する必要があるのである。

そこで次に示すK値の式によつて結果を整理し破壊時のKcと温度との関係を探る。

①表面切欠に対するKc値

$$K_c = f(c/b) \cdot \frac{a_1}{a} \cdot \sigma \sqrt{\pi c} + 6Y_B \frac{f(c/b)}{f(a/t)} \cdot \frac{a_1}{a} \cdot \frac{eK_c + dK_d}{a} \cdot \sigma \sqrt{c} \dots (1)$$

②長手表面切欠に対するKc値

$$K_c = f(a/t) \cdot \sigma \sqrt{\pi a} + 6Y_B \frac{eK_c + dK_d}{a} \cdot \sigma \sqrt{a} \dots (2)$$

$$f(c/b) = \sqrt{\frac{2B}{\pi c} \tan \frac{\pi c}{2B}}$$

$$f(a/t) = \sqrt{\frac{2a}{\pi t} \tan \frac{\pi a}{2t}}$$

$$Y_B = 1.99 - 2.47(a/t) + 12.97(a/t)^2 - 23.17(a/t)^3 + 24.80(a/t)^4$$

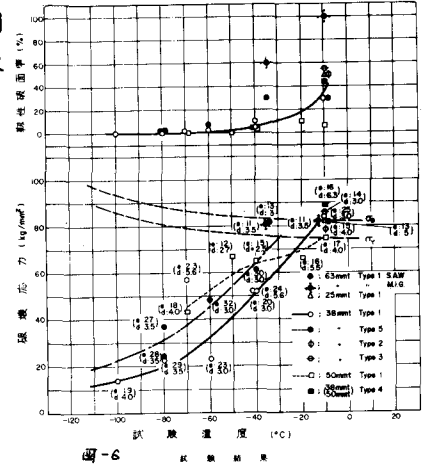
$$K_e = \frac{1}{2} \cdot \frac{\tanh \frac{m}{2}}{m/2}$$

$$K_d = \frac{\sinh \lambda m \{ \cosh(1-\lambda)m - \lambda \}}{\lambda(1-\lambda)m \cosh m}$$

$$m = \sqrt{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{1}{a}$$

- a₁: 切欠深さ
- a: 板厚
- c: 切欠長さの1/2
- B: 試験片半幅
- e: 角変形量(λ/π = e)
- d: 変形部長さ(試験片長さ)
- d: 目違11量(目違11幅 = b)
- λ: b/l
- E: ヤング率
- ν: ポアソン比
- σ: 破壊応力(クロス応力)

さて、本試験のように人工切欠を付与しない溶接継手では視覚により確認できるような切欠が無くとも、破壊発生英である溶接と端部は形状的に応力集中の原因になることから一種の切欠とみなし、これを試験片全幅にわたって"相当切欠深さa'"とし、a'を1.5mmと仮定しKc値と温度の関係を探るため図-7である。すなわちKc値と絶対温度の逆数との関係はほぼ直線で整理できる。



4. まとめ

図-7から板厚の効果、残留応力の影響および実際施工基準での破壊応力を推定して下記結論を得た。

(1). 板厚の効果について

図-7に示すとおり38mm、50mmおよび63mmのKc値にはほとんど差はなく同じKc値直線で示される。これは40mm程度以上では破壊発生特性におよぼす板厚の効果があることを示している。

(2). 応力破壊発生限界温度の推定

(2)寸を使い角変形量、目違い量の異なる今回の破壊応力から実際施工基準の角変形10%/1mmスパン、目違い3mmの場合の破壊応力を推定した結果が図-8である。図8より応力破壊発生限界温度は38mm寸-31℃、50mm寸-38℃、63mm寸-42℃と推定出来る。

(3). 溶接残留応力の影響

図7、図8より十字溶接による溶接残留応力付加の影響は30℃と見ることが出来る。従来の試験でこの影響は30℃~60℃の向に変化しているが本試験の30℃は溶接残留応力付加を片面のみのBand on Plate 11/16の施工基準と妥当な値であらう。

(4). 種々の大きさの切欠が存在する場合の安全性について

実際構造物の溶接継手では角変形、目違いの他、われ等の溶接欠陥を考慮する必要があるので、切欠のある場合の使用条件下で安全性の確認が必要である。このように切欠が存在している場合(1)(2)寸により解折が可能となる。すなわち最低使用温度、設計応力、施工基準での角変形、目違いの量から図-7のKc値と(1)(2)寸を使うことにより使用条件下で許容する切欠の大きさが推定できる。そこで、この一例として図-9に最低使用温度-10℃角変形、目違い10%/1mmスパン、3mmとして残留応力の高い場合の板厚と応力レベル毎の許容する切欠深さと長さの関係を示す。

例えば、球形タンクの開放検査で見逃された大きさの深さおよび長さである5mm深さ×85mm長さの切欠が本橋に存在する場合、許容応力にはほぼ等しい35kg/cm²の場合にはもちろん母材降伏長の70%/mmの場合でも、(1)づれの使用条件下でも安全であると推定することが出来る。

最後に本試験において色々御協力下さいました運輸省船舶技術研究所の肉休各位に謝意を表します。

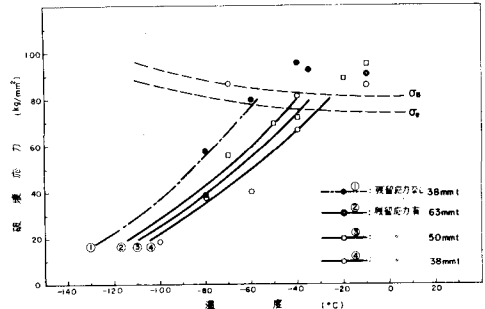
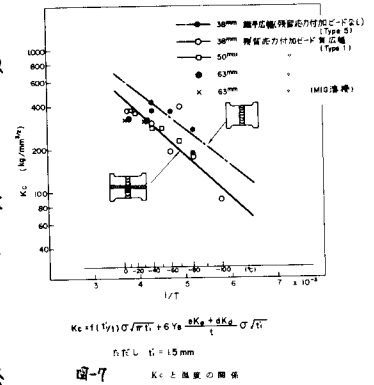


図-8 角変形10%/1mmスパン、目違い3mmでの破壊応力推定

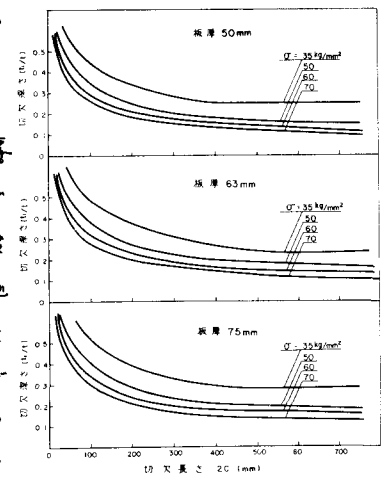


図-9 最低使用温度-10℃、角変形10%/1mmスパン、目違い3mmでの許容する切欠の長さ(深さ)の関係(設計応力の高い場合)

(文献) (1) 木原、池田、造船学会論文集 No. 118
 (2) 伊藤、田中、造船学会論文集 No. 129
 (3) 高圧力 1969 Vol. 7 No. 5.