

4章 横打ちされた偏肉スタッド溶接の特性

4.1 概要

3章で述べた要領により横打ち溶接の試験体を作成し、横打ち溶接されたスタッドのうちフラッシュが全周を包囲していない不良品質のスタッドを用いて、横打ち溶接された偏肉スタッドの特性について確認した。溶接前の母材を図4-1に、施工状況を図4-2に示す。次節より、フラッシュの形状特性、溶着金属内部の欠陥発生状況およびスタッド溶接部の硬さ、引張強度について確認した結果を記述する。

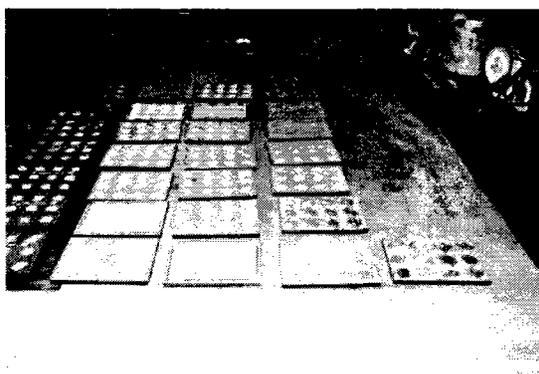


図 4-1 溶接前の母材

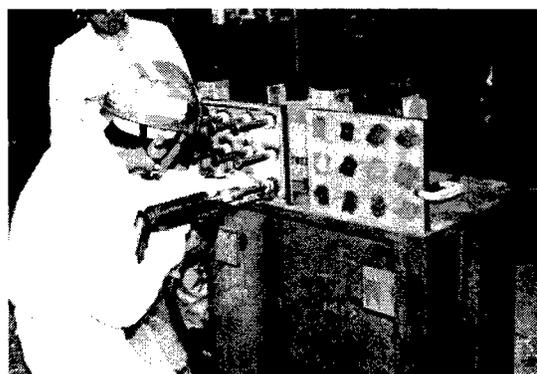


図 4-2 横向き溶接の施工状況

4. 2 フラッシュ形状

図 4-3 に示すようにスタッドを縦に切断し、フラッシュ形状を観察した。フラッシュの断面形状は、おおよそ図 4-4 に示すようになっている。フラッシュの全高 H 、幅 B について計測した結果を表 4-1 に示す。なお、横向きで溶接したスタッドにおいては、下側にのみフラッシュが形成されたものを意図的に製作したが、ここで示す値は下側のフラッシュに対して計測を行った結果である。

フラッシュ形状は、スタッド径が小さくなるにしたがって、幅、高さともに小さくなっていることがわかる。これはフェール内側のフラッシュ形成用スペースすなわち溶鋼が充填される空間が、スタッド径が小さくなるにしたがって小さくなるためであると考えられる。

$\phi 22$ の試験体については、下向きで溶接した健全なものおよび横向きで溶接したものの両方について測定を行った。横向きで溶接した場合、フラッシュが全周包囲していないものの、下側フラッシュの形状は幅が若干大きく、高さが低くなるようであるが、下向きで溶接された場合のそれと比較して特に小さいということはなく、道路橋示方書の余盛りの条件「高さ 1mm、幅 0.5mm 以上」と同等であることがわかった。

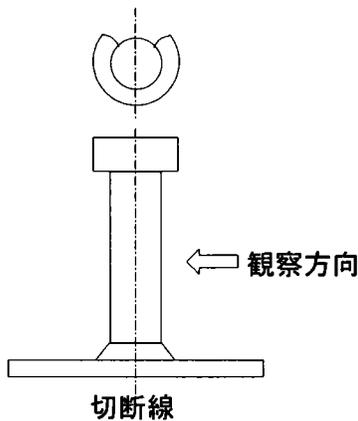


図 4-3 切断方法

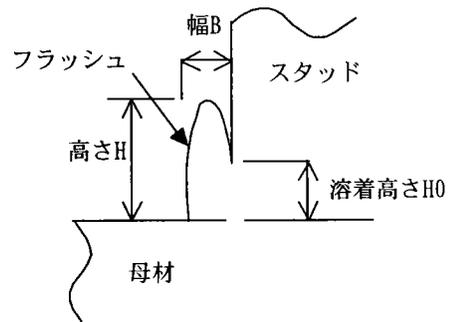


図 4-4 フラッシュ形状の模式図

表 4-1 フラッシュの形状 (mm)

スタッド径	溶接方向	幅 B	高さ H
$\phi 22$	下向き	2.9	9.9
	横向き	3.2	8.0
$\phi 19$	横向き	2.9	7.3
$\phi 16$	横向き	2.6	6.5

4.3 フラッシュの偏肉角度

本実験は、横向きに溶接したスタッドに意図的に欠陥が生じるようにしており、それにより、スタッドの上側にフラッシュが形成されない箇所が生じる。図 4-5 に偏肉スタッドの例を示す。次に、図 4-6 に示すように、フラッシュが形成されていない領域の角度を計測した（図 4-7）。図 4-9 に各スタッド径の偏肉角度の計測結果を示す。同一径のスタッドに対してはすべて同じ条件で施工したが、偏肉の程度は大きく異なっている。また、スタッド径が太くなるにしたがって、偏肉程度の大きいものが生じやすい傾向にあることがわかる。ただし、本実験では意図的に偏肉を生じさせており、これが一般的な傾向とはいえない点には留意する必要がある。



図 4-5 偏肉のあるスタッド溶接の例

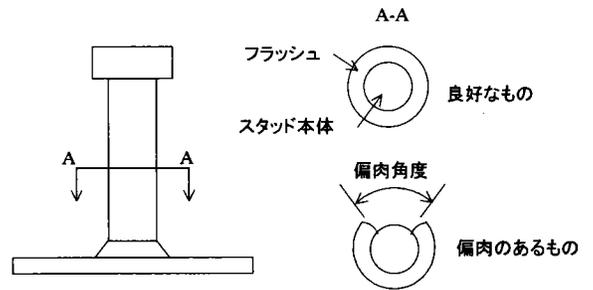


図 4-6 偏肉角度の定義

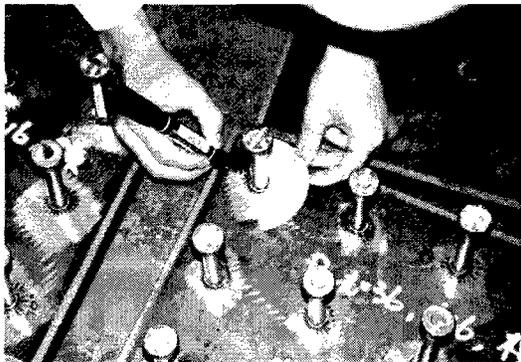


図 4-7 角度計測状況

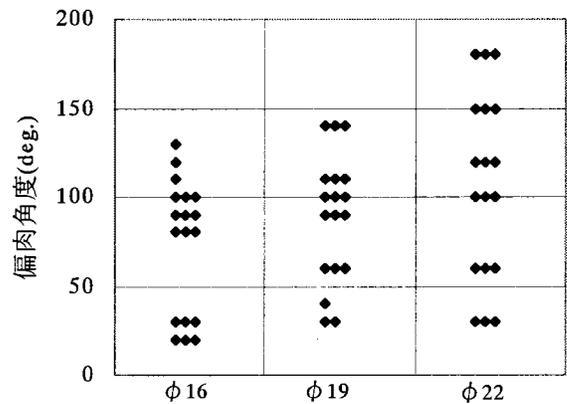


図 4-8 スタッド径ごとの偏肉角度

4. 4 溶着面積

マクロ試験による観察の結果，フラッシュがスタッドを 360° 包囲していない場合においても，ほとんどの試験体においてスタッドの断面積分は母材に溶着していることが確認できた．例として，偏肉角度が 150° のものの断面マクロ写真を図 4-9 に示す．写真の左側がスタッド溶接時の下側，写真の右側が上側に対応しており，スタッドの左側にはフラッシュが形成されているのに対し，右側にはフラッシュがまったくみられない．しかしスタッドの軸部の直下では溶着している様子がわかる．これは，スタッド溶接が溶接ガンによってスタッドを鋼板に押しつけ，瞬間的に電流を通じることによってアークを発生させてスタッドの先端部を溶解させるため，スタッド軸部については母材との圧着が確保されやすいためであると考えられる．すなわち，上側のフラッシュが存在しないような外観を呈するスタッド溶接においても，軸部の断面積分は溶着しているものと考えられる．以上のことから，表面からの溶接によって余盛りを追加することによる溶接補修の適用可能性を示すものである．

ただし，偏肉程度が大きいものについてはスタッド本体と母材との間に不溶着部が残されている例があった．これについては次節に示す．

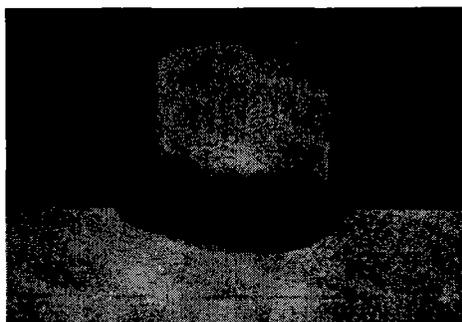


図 4-9 断面マクロ写真の例

4. 5 欠陥の発生状況

溶接欠陥の種類が偏肉以外の欠陥について、断面マクロの観察により調査した。その結果、一部の試験体においては最大 1.7mm に達するようなアンダーカットが発生していた。また、スタッド本体と母材との間に不溶着部が残されているものもあった。それぞれの例を図 4-10 に示す。図 4-10(b)に示すような不溶着の欠陥は外観からはその存在を認識することは困難であると考えられる。深いアンダーカットやスタッド本体と母材との間の不溶着部は、溶接を施しても再溶融が困難であると考えられることから、このような欠陥が発生したスタッド溶接に対しては溶接補修の効果は低いものと考えられる。欠陥が確認された試験体について、偏肉角度およびスタッド径で整理したものを図 4-11 に示す。φ16 については、偏肉程度が比較的小さいものも多く、偏肉角度が 90° 程度になると欠陥が発生している。φ19 についてもほぼ同様の傾向であった。φ22 では欠陥の発生数も多く、偏肉角度の大小によらず欠陥が発生しやすい傾向であることがわかる。

以上より、細径でかつ偏肉程度が大きな場合、および太径で偏肉がある場合には、溶接補修が不可能なアンダーカットや不溶着が発生しやすいといえる。

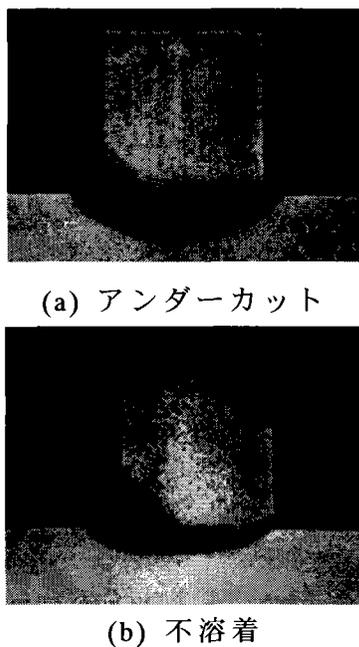


図 4-10 欠陥の例

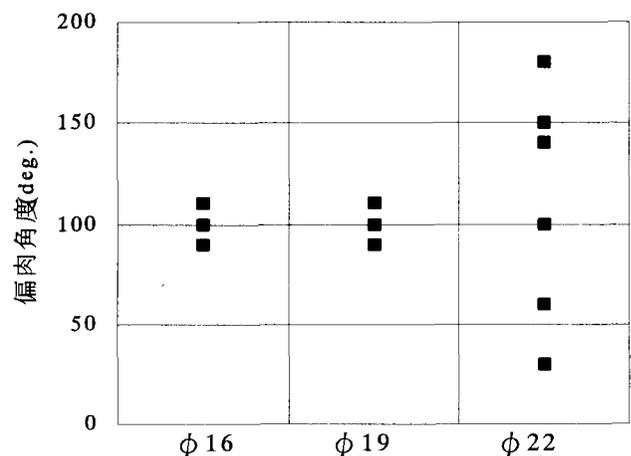
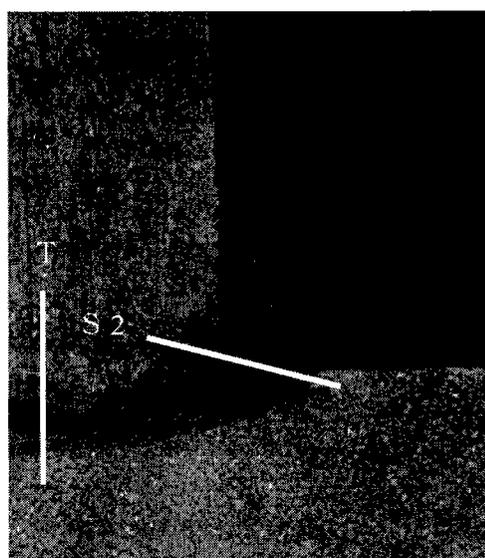


図 4-11 欠陥が発生したスタッドの偏肉角度の分布

4. 6 硬さ試験結果

横打ち溶接されたスタッド溶接箇所は、スタッド溶接による入熱により材料硬化していることが考えられ、ビッカース硬さ試験を行い、材料の硬さを確認した。硬さ試験は、スタッド径φ16、φ19、φ22 について行った。硬さの計測位置は、図 4-14 に示すように、スタッドのフラッシュ直下と、スタッド軸中央部について計測した。溶接熱影響部（以下 HAZ）において硬さ変化が大きくなり、最高硬さとなることから、計測間隔はHAZについては 0.5mm とし、その他については 1.0mm とした。

表 4-5、図 4-15 に硬さ試験結果を示す。最高硬さは、各スタッド径のいずれも母材側の HAZ で発生しており、フラッシュ直下の方が、スタッド軸中央部より高い値となっている。最高硬さは 400Hv を越えるものがあり、スタッド溶接を行うと鋼材に著しい硬化が生じることがわかる。また、スタッド径が細い方が、最高硬さが大きい傾向となっているが、これは入熱量や冷却速度などの相違によるものと考えられるが、詳細は不明である。



S2 : フラッシュ(余盛り)表面下 2mm
T : スタッド軸中央部

図 4-12 硬さ試験計測位置（補修溶接なし）

表 4-2 硬さ試験結果

試験体 番号	計測箇所	スタッド径 (mm)	最高硬さ (Hv)	最高硬さ 発生箇所
1	S2	22	347	母材側HAZ
2			343	母材側HAZ
3		19	379	母材側HAZ
4			400	母材側HAZ
5		16	372	母材側HAZ
6			407	母材側HAZ
1	T	22	306	母材側HAZ
2			316	母材側HAZ
3		19	284	母材側HAZ
4			334	母材側HAZ
5		16	311	母材側HAZ
6			347	母材側HAZ

S2 : フラッシュ(余盛り)表面下 2mm

T : スタッド軸中央部

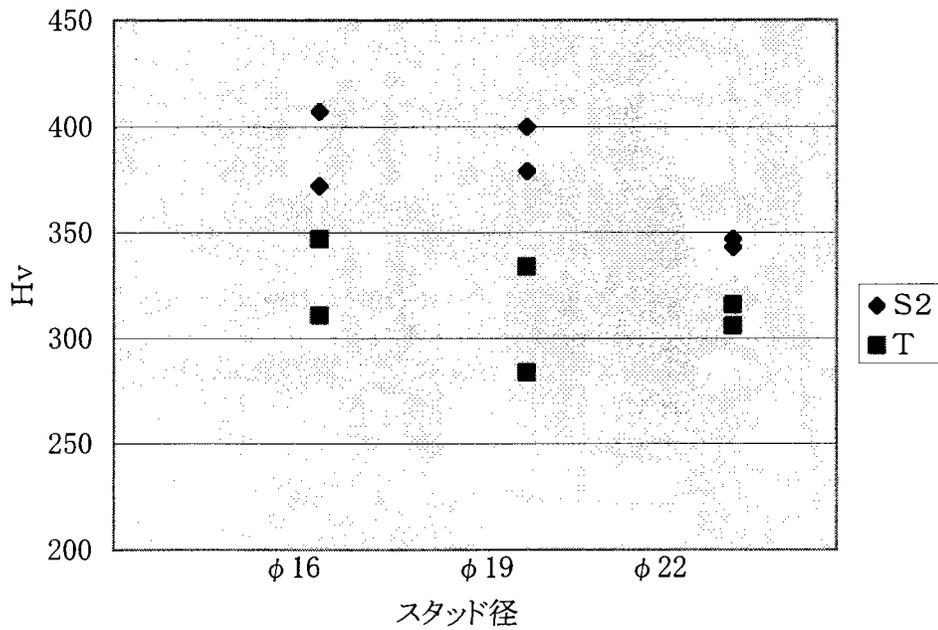


図4-13 硬さ試験結果 (溶接補修なし)

4. 7 引張試験結果

溶接補修を行っていないスタッドについて引張試験を行った。スタッド径 $\phi 16$, $\phi 19$, $\phi 22$ ごとに2体ずつ試験を行い、偏肉角度が大, 中, 小の3つの区分について行った。スタッド径 $\phi 22$ については、偏肉角度がない健全な余盛りのものについても引張試験を行った。

引張試験は図 4-14 に示すように JIS B1198 に示される方法により行った。JIS B 1198 頭付きスタッドの引張強度の規格値は 400~550MPa である。試験状況を図 15~17 に示す。

引張試験結果を表 4-3 に示し、図 4-18 に偏肉確度と引張強度の関係を表す。偏肉スタッド1本を除いて引張強度は、規格値である 400~550MPa を満足していた。引張強度の規格値を外れた1本については、偏肉角度が 160° と大きいのが、軸部で破断しており、554MPa と過大な引張強度であり引張強度が低下したものではない。また、偏肉角度の程度が大きくなっても引張程度の低下は見られない。これは、マクロ試験の結果において、偏肉があるスタッドにおいても、軸部の面積分は溶着している結果を裏付けるものといえる。

ほとんどの試験体が軸部で破断しており、道路公団の規定する「溶接部で切れてはならない」を満足している。しかし図 4-19,20 に示す、 $\phi 16$ で偏肉角度 90° のもの1本はスタッドの根元で破断した。その破断面の破面観察によりブローホールおよび未溶着箇所が確認され、溶着していたとみられる面積はスタッド軸部の 89%であった。根元での破断の原因は、一部分の未溶着部によるものと考えられる。

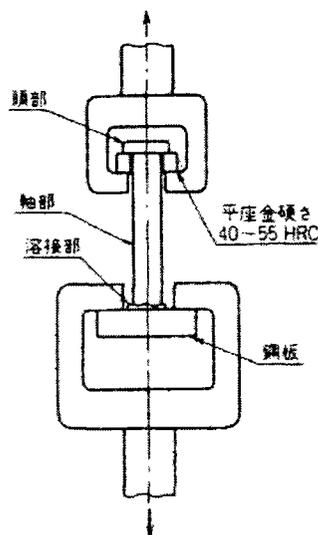


図 4-14 引張試験方法

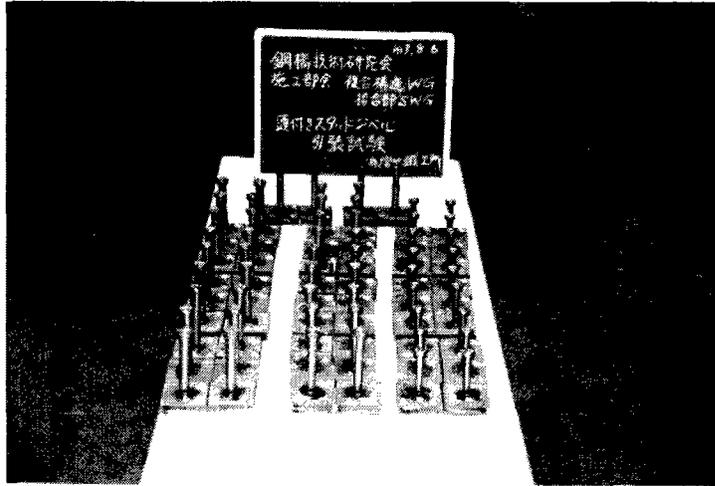


图 4-15 引張試験体

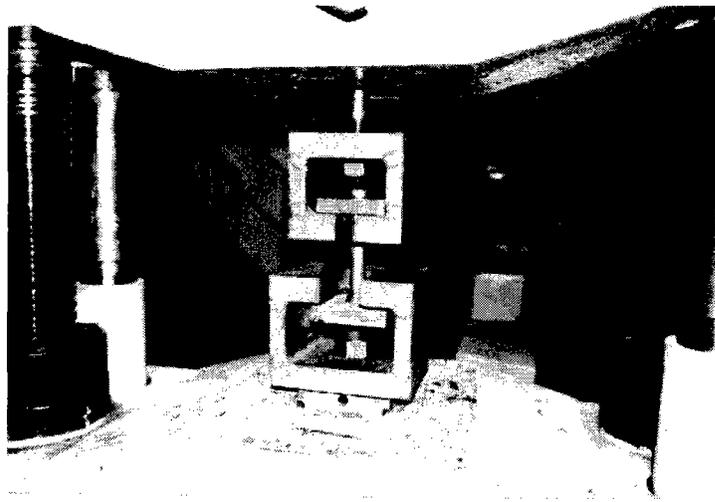


图 4-16 引張試験状況

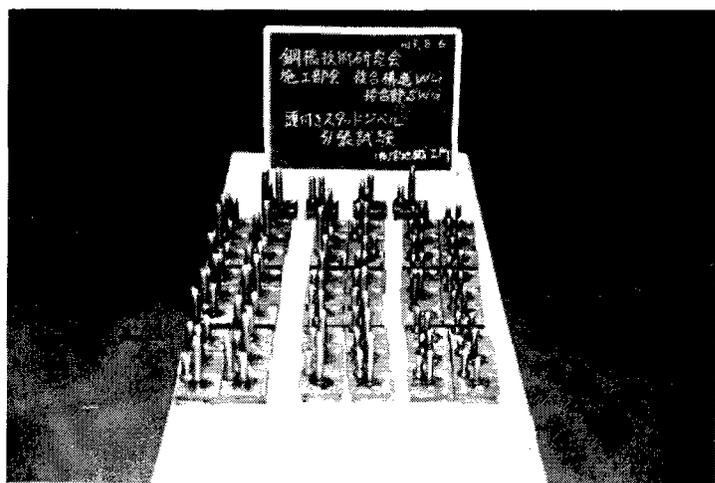


图 4-17 引張試験後

表 4-3 引張試験結果（補修溶接なし）

	スタッド径 (mm)	偏肉程度	偏肉角度	引張荷重 (KN)	径 (mm)	引張強度 (MPa)	規格値 (MPa)	破断位置
1	22	なし	—	184.5	21.8	494	400～ 550	軸部
2		なし	—	166.5	21.8	446		軸部
3		大	160	208.5	21.9	554		軸部
4		大	150	201.0	21.8	539		軸部
5		中	100	183.5	21.8	492		軸部
6		中	90	202.0	21.9	536		軸部
7		小	80	200.5	21.8	537		軸部
8		小	50	197.0	21.9	523		軸部
9	19	大	120	137.0	18.7	499		軸部
10		大	110	136.5	18.8	492		軸部
11		中	90	137.5	18.8	495		軸部
12		中	90	136.5	18.8	492		軸部
13		小	70	135.0	18.8	486		軸部
14		小	40	137.0	18.8	494		軸部
15	16	大	100	102.0	15.8	520		軸部
16		大	100	102.5	15.9	516		軸部
17		中	90	98.5	15.9	496		根元
18		中	80	97.0	15.8	495		軸部
19		小	40	100.5	15.9	506		軸部
20		小	30	99.0	15.8	505		軸部

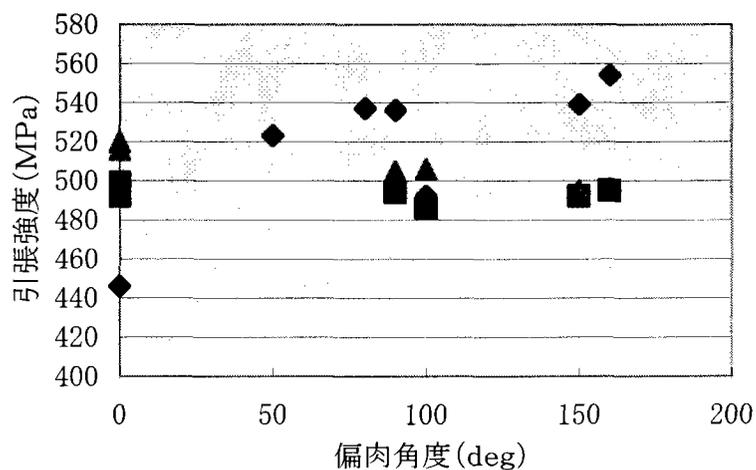


図 4-18 偏肉角度と引張強度

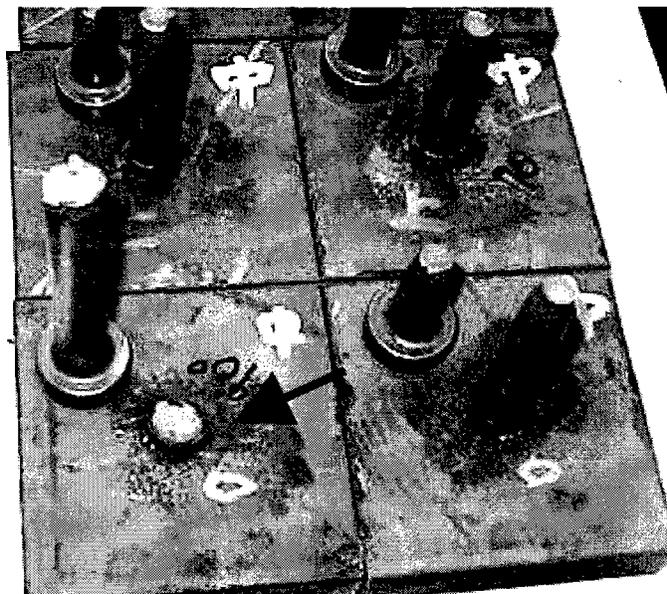


图 4-19 根元破断状况
($\phi 16$ 偏肉角度 90°)

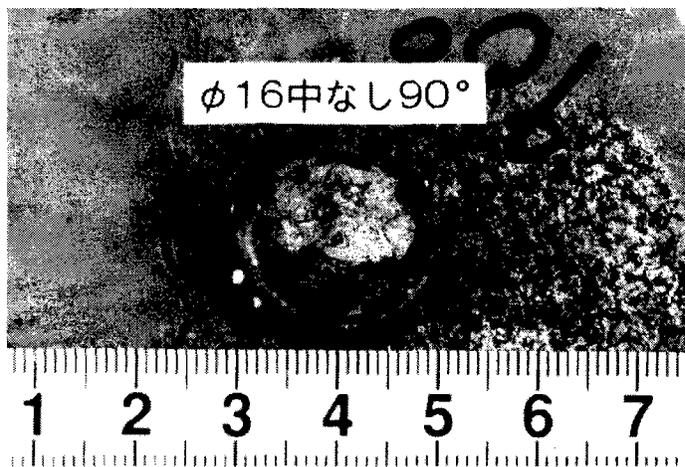


图 4-20 根元破断状况
(扩大写真)