

## 鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論（その5）

— 検出できない欠陥と品質管理の方法 —

齊藤 鉄夫  
(技術研究所)矢部 喜堂  
(技術研究所)小早川 恵実  
(技術研究所)藤盛 紀明  
(技術開発本部)

## § 1. はじめに

鉄筋コンクリート用棒鋼のうち熱間圧延異形棒鋼（以下、異形鉄筋と呼ぶ）の接合法には、ガス圧接法、重ね継手法および機械継手法がある。これらのうち、ガス圧接法はその力学的性状の優秀性、作業の簡便性および経済性などの利点から、中・太径の異形鉄筋の接合法の主流を占めている<sup>1)</sup>。筆者らは、超音波のパルス反射法による異形鉄筋のガス圧接継手（以下、圧接部と呼ぶ）の非破壊検査法の研究を続け、二、三の報告を行なってきた<sup>2)~5)</sup>。

既報(その1)<sup>2)</sup>では、圧接部に生ずる欠陥の種類とその力学的性状および超音波パルスの反射特性を明らかにし、探傷方法（リブからの2探触子法）および探傷条件を提案した。同(その2)<sup>3)</sup>では、人為的に製作した試験体を用いて実験を行ない、最大エコー高さで圧接部の引張り強さとの間に顕著な相関関係が存在することを明らかにし、最大エコー高さで圧接部の品質を評価する手法を提案した。同(その3)<sup>4)</sup>では、圧接面における欠陥の発生分布や探傷可能領域等を用いて、最大エコー高さで引張り強さの相関関係を理論的に導き、この相関関係は径に依存せず成立することを明らかにした。ここで、探傷可能領域とはリブからの2探触子法で欠陥検出が可能な圧接面上の領域をいう。同(その4)<sup>5)</sup>では、先の報告で提案した探傷方法を全国的な規模で建築および土木の現場に適用し、現場の圧接部についても最大エコー高さで引張り強さの相関関係が成立すること、したがって以前の報告で提案した探傷方法・評価方法は現場の圧接部に適用が可能であることを明らかにした。また、同時に現場の圧接部の品質の現状も明らかになった。

本探傷法を現場の異形鉄筋のガス圧接工の品質管理に用いるためには、さらに以下の点を明確にする必要がある。

(i)引張り強さが規格値未満で、かつ超音波探傷法で検出されない圧接部の発生原因を明らかにする。

(ii)このような圧接部に対する施工管理上、もしくは品質管理上の対策を明確にする。

(iii)引張り強さが規格値未満の圧接部を超音波探傷法で見逃す確率を考慮した抜取検査の検査特性(OC)曲線、平均出検品質(AOQ)曲線を導く。

本報告は、これら3点について論ずるものである。

引張り強さが規格値未満で、かつ最大エコー高さの低い圧接部が存在する理由は、一つには超音波パルスの反射能の小さい欠陥の存在<sup>2)3)</sup>であり、他の一つは超音波探傷可能領域が圧接全面ではなく圧接面の一部である<sup>4)</sup>ことである。前者に関しては、既報(その2)と(その3)における実験結果からその存在が明らかになり、そしてその発生原因と超音波反射エコーが低い理由が考察され、また現場の圧接部には実際には存在しないであろうと推論されている<sup>2)</sup>。そして、同(その4)における現場の圧接部の調査においても、このような圧接部は存在しなかった。したがって、本報告では考察の対象外とする。

後者に関しては、既報(その3)で探傷可能領域を実験的に同定した。この結果と欠陥の圧接面内における発生分布の実測結果を用いて、確率論的に最大エコー高さで引張り強さの相関関係を導いた<sup>4)</sup>。したがって、確率論的には大きな欠陥面積比を有し、それがすべて探傷可能領域外に分布するような圧接部の存在も、小さい確率ながら許される。つまり、相関関係ははずれる圧接部は、ある確率で存在すると予想される。同(その4)における現場の圧接部の調査において、これに該当する圧接部が数体存在し、その施工上の発生原因が推定された。本報では、推定された施工原因を再現して圧接部供試体を作り、最大エコー高さ、引張り強さおよび圧接面の観察を行なって推論を検証し、相関関係をはずれる圧接部の施工原因およびその対策を明確にする。

上記のように、圧接部の超音波探傷法では不良な圧接部の検出能力は必ずしも100%ではない。一般に抜取検査を行なう場合、生産者危険および消費者危険を表わすOC曲線や、検査通過後の品質を表わすAOQ曲線、

AOQL を用いて抜取方式を定めるが、これまで検出能力を 100% とした場合の OC 曲線、AOQ 曲線しか明らかになっていない。したがって、異形鉄筋のガス圧接工事に本探傷法を用いる場合、既往の OC 曲線、AOQ 曲線を用いることはできない。本報では、検出能力が 100% 未満の場合の OC 曲線、AOQ 曲線を導き、代表的なロット数・抜取数・合格判定個数の組み合わせ例について計算結果を示し、規格値未満の引張り強さを有する圧接部の見逃しを考慮した場合の品質保証の精度の変化について論ずる。

## § 2. 実験

### 2.1 試験体の製作

#### (1) 製作条件

既報(その4)において、現場の圧接部に関する最大エコー高さと引張り強さの調査を行なった。その結論は以下の3点であった。

(i) 建築現場の圧接部(試料数  $n=3715$ )の最大エコー高さと引張り強さの相関関係は理論値とよく一致した。規格値未満の引張り強さを示す圧接部の最大エコー高さは、 $-25$  dB 以上であった。

(ii) 土木現場の圧接部(試料数  $n=576$ )の最大エコー高さと引張り強さの相関関係は、理論的に予測された領

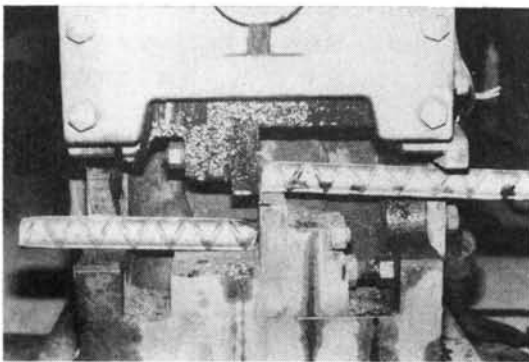


写真-1 異形鉄筋の切断状況

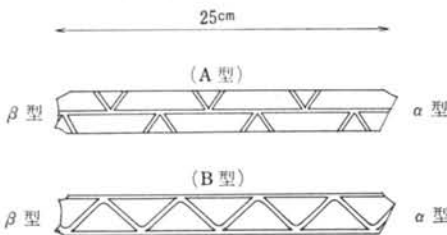


図-1 シェア切断による異形鉄筋切断片

域の外に位置する供試体が数体存在した。これらの試験体は、いずれも片ぶくらみ<sup>3)</sup>、圧接面位置のぶくらみ中

記号	端面の組合せ	隙間(mm)	本数
VS	Aβ-Bβ	~ 1	7
VM	Aα-Bβ Aβ-Bα	~ 5	$\frac{3}{4}(7)$
VL	Aα-Bα	~11	7
VH	Aα-Bα	~11	7
VB	Aα-Bβ	~ 3	3
IS	Aα-Bβ Aβ-Bα	~ 5	$\frac{3}{4}(7)$
IL	Aα-Bα	~ 1	7
IH	Aα-Bα	~ 0	7
KN	高速カッタ 切断端面	~ 0	7
KH	同 上	~ 0	7

表-1 試験体の製作条件

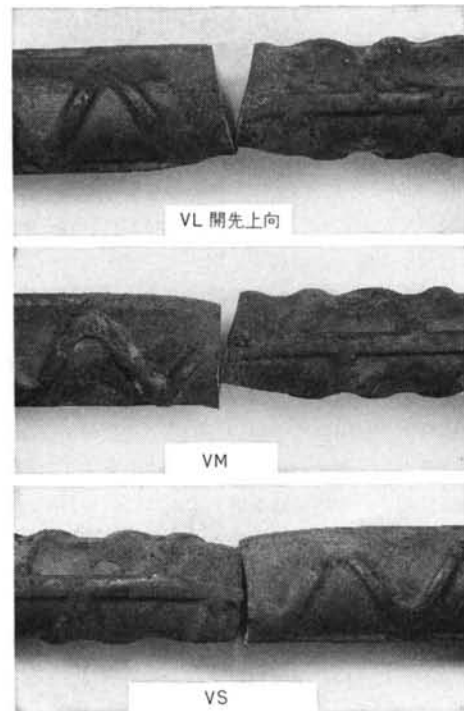
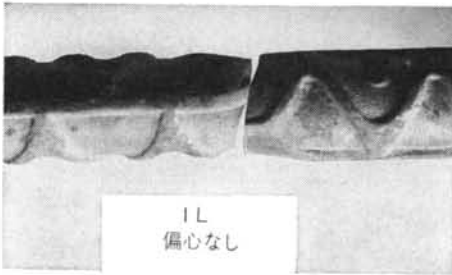


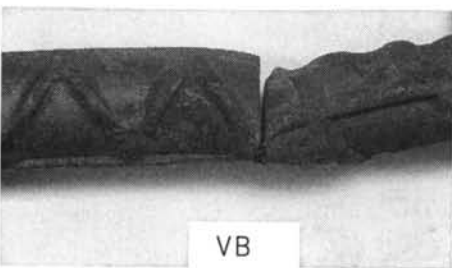
写真-2 VL, VM, VS 型の端面突き合わせ状況  
(VH型はVL型と同様)



写真—3 IS, IL 型の端面突き合わせ状況  
(IS 型は IL 型と同様)



写真—4 KN, KH 型の端面突き合わせ状況  
(KN 型, KH 型とも同様)

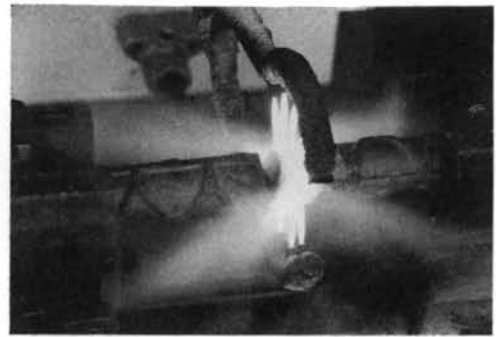


写真—5 VB 型の端面突き合わせ状況

央からのずれ<sup>9)</sup>等の外観上の特徴を有していた。ここで片ぶくらみとは、ふくらみが1方向のみ大きく生じている形状を指す。

(ii)片ぶくらみ形状および圧接面位置のふくらみ中央からのずれに対して、それぞれ次のような施工原因が指摘される。

(a)工場で機械切断(シエア切断)された異形鉄筋の端面は、軸心に対して傾きを有している場合が多い。この



写真—6 VH 型における加熱状況

端面に対して錆落し程度のグラインダがけは行なうが、端面が軸心に対して直角になるように修正せず、両端面がV字形になるように突き合わせて圧接した。

(b)加熱中心が端面突き合わせ面からずれていた。

上記の(a), (b)の端面条件, 作業条件を再現し, 上記(ii)で述べた規格値未満の引張り強さで最大エコー高さの低い圧接部の製作を試みた。

#### (2)異形鉄筋の切断

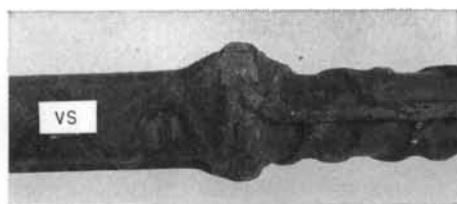
供試異形鉄筋は高炉メーカー製の材質 SD 30, 呼び名 D 32 である。これは, 前項(ii)で述べた圧接部と同一のメーカー材質, 呼び名である。シエア切断機を用いて, 異形鉄筋を 25 cm 長で順次切断した。切断状況を写真—1 に示す。このとき, シエア切断機の刃をリブの横方向から入れる場合, およびリブ方向から入れる場合の 2 通りの方法で切断した。前者を A 型, 後者を B 型とする(図—1)。また, 切断された異形鉄筋片の両側の端面の形状は異なる。これは, 長い異形鉄筋を順次切断する場合, 鉄筋母材から切り落される切断片の側の端面と, それに対応する長棒側の端面とで切断状況が若干異なるためである。ここで, 前者の端面の形を  $\alpha$  型, 後者を  $\beta$  型とする(図—1)。

その他に, 高速カッタで切断した供試体を用意した。したがって, 異形鉄筋の端面としては,  $A\alpha$ ,  $A\beta$ ,  $B\alpha$ ,  $B\beta$  および高速カッタ切断端面の 5 種類があることになる。

#### (3)試験体の製作

5 種類の端面の突き合わせで 10 種類の端面突き合わせ形式を作り, 合計 66 体の圧接部試験体を製作した。圧接前には, 切断端面の形状を変化させない程度に入念にグラインダがけを行ない, 端面表面を清浄にした。

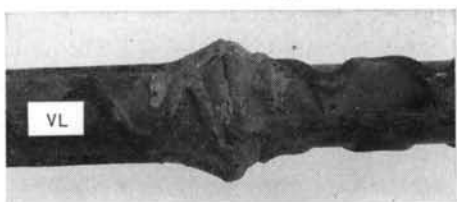
試験体記号と端面突き合わせ形式を表—1 に示す。ここで VL, VM, VS, VH 型は, 写真—2 に示すように突き合わせ時に両端面が V 字形になるように突き合わせ, IS, IL, IH 型は写真—3 に示すように両端面が極



(a)VS 型試験体



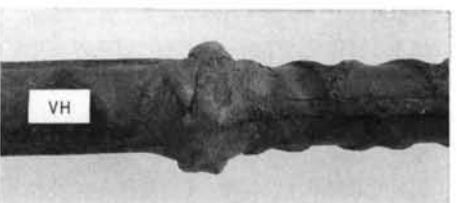
(b)VM 型試験体



(c)VL 型試験体



(d)VB 型試験体



(e)VH 型試験体



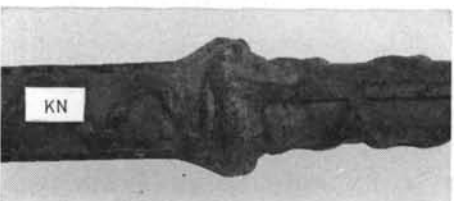
(f)IS 型試験体



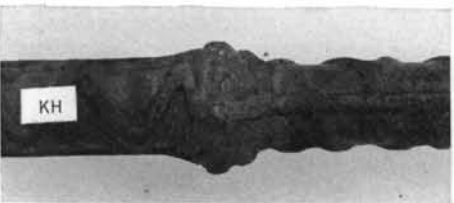
(g)IL 型試験体



(h)IH 型試験体



(i)KN 型試験体



(j)KH 型試験体

**写真一七 製作した圧接部試験体**

力平行になるように突き合わせる。KH、KN 型は高速カッタ切断端面同士を突き合わせたもの(写真一四)、VB 型は  $A\alpha-B\beta$  (VM 型) の A 型片をベンダーで多少曲げて、現場で散見される「端曲がり」端面を模擬したものである(写真一五)。

VH、IH、KH 型については、加熱中心を突き合わせ中心から 12mm 離れた位置とした。加熱状況を写真一六に示す。ここで、距離 12mm は予備実験を行なって、現場における調査で判明した圧接面が圧接部のふくらみ中

央から離れた供試体と同様な破断性状になるように定めたものである。なお、突き合わせた両異形鉄筋のリップが 90° ずつ交互に配置されるように A 型と B 型の端面を組み合わせた。KN、KH 型においても同様である。これは、圧接面における探傷可能領域を最大にするためである。

写真一七(a)~(j)に、製作した圧接部試験体の外観を示す。

## 2.2 外観形状の測定

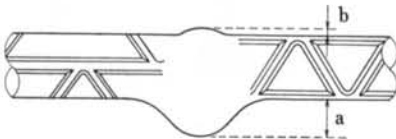
製作した圧接部試験体のふくらみ径、ふくらみ幅、偏心量、片ぶくらみ量、圧接面の軸心に対する傾きおよび圧接面のふくらみ中心からのずれを測定した。ふくらみ径・幅については、各試験体について最大値と最小値を測定した。偏心量および圧接面の傾きの測定は専用治具を用いて行なった。片ぶくらみ量は図一2に示す(a-b)で定義し、写真一8に示す治具・方法で測定した。

## 2.3 超音波探傷試験

パルス反射式Aスコープ探傷器を用い、既報(その1)で提案したリップからの2探触子K走査法で圧接面からの反射エコー高さを測定した。使用した探触子は5Z5×5A70、接触媒質は濃度98%以上のグリセリン水溶液である。なお、探傷感度はリップ間の透過パルスの最大レベルを基準とした。超音波探傷試験は圧接部のふくらみをはさむ両側から行ない、それぞれ基準エコーレベル、最大エコー高さおよび最大エコー高さを得る探触子位置・ピーム路程を測定した。

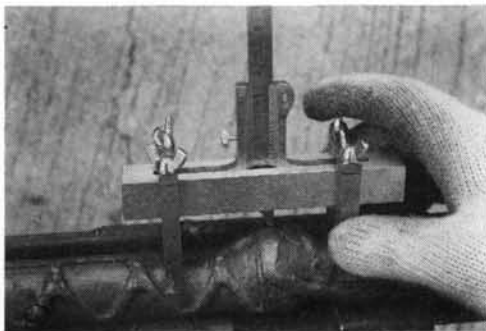
## 2.4 引張試験、曲げ破面試験

外観形状測定および超音波探傷試験を行なった後、引張試験を行ない圧接部の引張り強さを求めた。引張試験において圧接面破断しなかったものは母材破断前に除荷し、圧接面に沿ってノッチを入れ曲げ破断させ、圧接面を露出させた。



$$(\text{片ぶくらみ量}) = a - b$$

図一2 片ぶくらみ形状およびその定量化



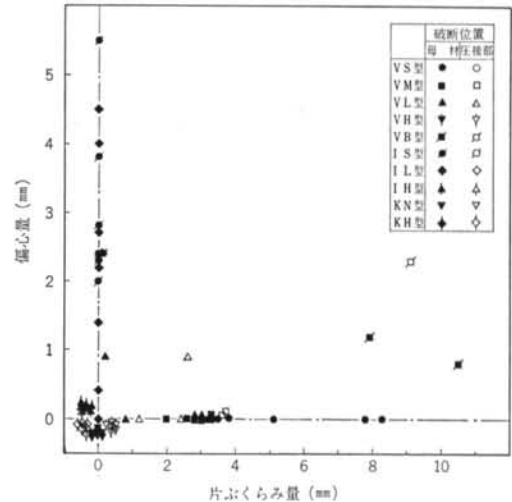
写真一8 片ぶくらみ測定治具を用いた測定状況

## § 3. 実験結果および考察

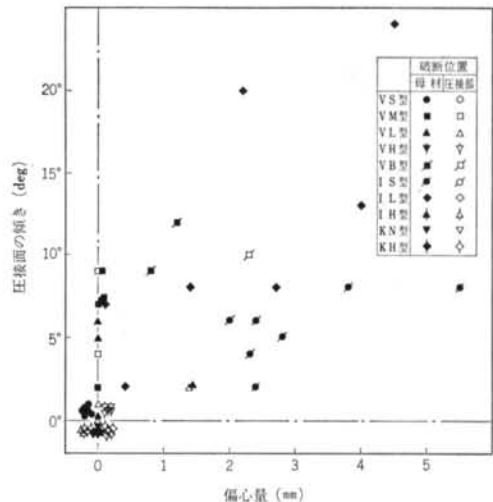
### 3.1 外観形状

図一3に片ぶくらみおよび偏心の分布を示す。この結果から、現場の圧接部の調査で明らかになった片ぶくらみ形状の圧接部は、推論どおりVL、VM、VS、VB型の突き合わせの場合に生ずることが明らかである。特にVB型、すなわち端面曲がりの存在する異形鉄筋の圧接部で顕著である。また、偏心はIS、IM、IL型の突き合わせで生ずる。

図一4は、偏心と圧接面の傾きの分布を示したものである。偏心と圧接面の傾きとは同一形状の異なった表現であるともいえる。



図一3 片ぶくらみ量および偏心量の分布



図一4 偏心量および圧接面の傾きの分布

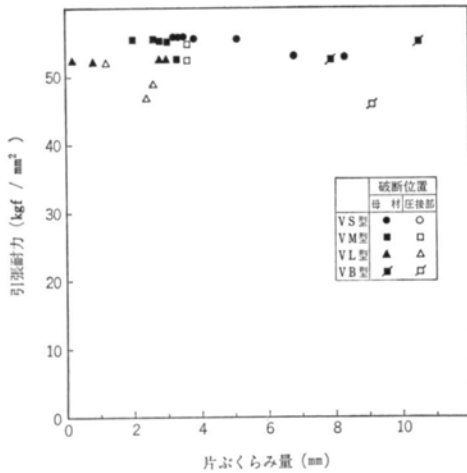


図-5 片ぶくらし量と引張り強さの関係

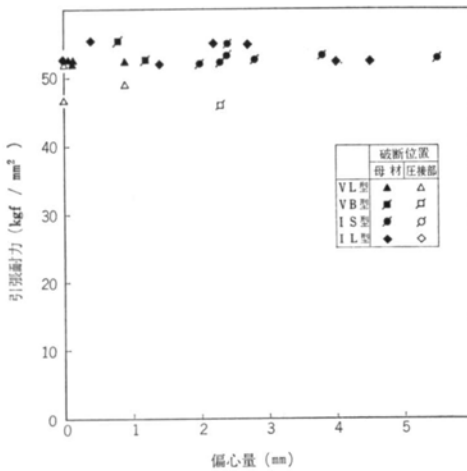


図-6 偏心量と引張り強さの関係

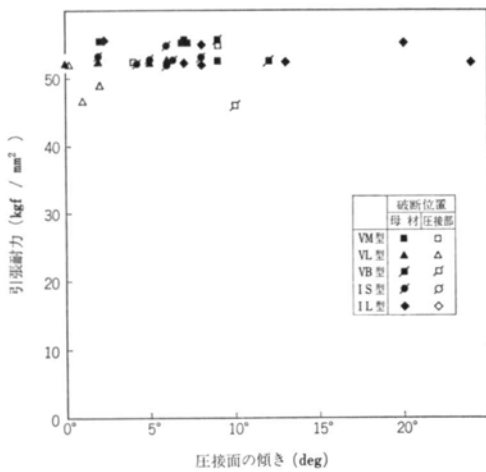


図-7 圧接面の傾きと引張り強さの関係

図-5 に片ぶくらし形状と引張り強さの関係を、図-6 に偏心と引張り強さの関係を、図-7 に圧接面の傾きと引張り強さの関係を示す。それぞれの外観形状を表現するパラメータの大きさと引張り強さの間には顕著な関係は存在しないが、圧接面破断もしくは規格値以下の引張り強さで圧接面破断する確率は、通常の圧接部に比べて非常に高いといえる。

### 3.2 最大エコー高さと引張り強さの関係

図-8 に、超音波探傷試験で得られた最大エコー高さと引張り強さの関係を示す。最大エコー高さが低く、かつ引張り強さが規格値を満足しない圧接部が存在し、VL, VB, VH, IH, KH 型の一部がそれに該当する。

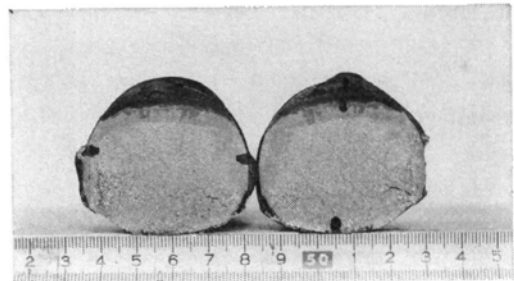


写真-9 VH型試験体の破断圧接面

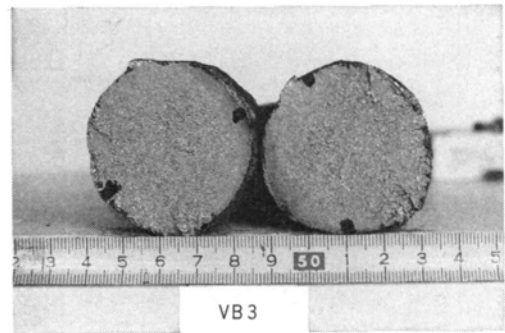


写真-10 VB型試験体の破断圧接面



写真-11 KH型試験体の破断圧接面

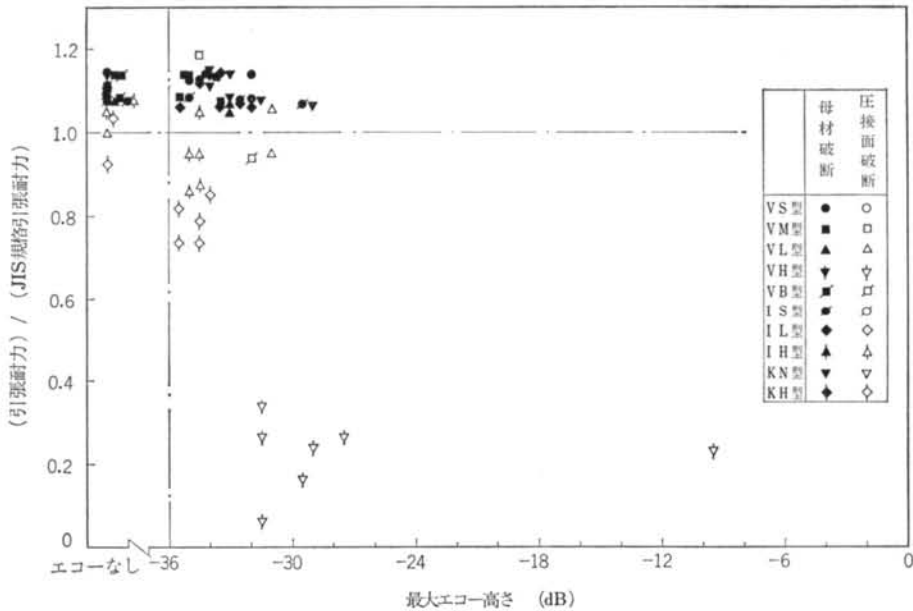


図-8 最大エコー高さと引張り強さの関係

VL, VB, KH 型の代表的な破断圧接面を写真-9~11 に示す。

### 3.3 考察

既報(その4)における現場調査で明らかになった、最大エコー高さと引張り強さの関係が理論的に予測される領域に入らない圧接部は、次のような条件で施工されたものであると結論できる。

(i) α型端面同士を隙間がV字型になるように突き合わせて圧接した(VL型)。もしくは、端部が端曲がりの状態で圧接した(VB型)。

(ii) 加熱中心が端面突き合わせ中心から10mm前後離れていた(KH, IH, VH型)。

本実験におけるこれらの試験体の外観形状、最大エコー高さ、引張り強さおよび破面の状況は、既報(その4)の現場調査で最大エコー高さと引張り強さの関係が理論的な予測領域外にあった圧接部の状況とよく一致する。上記(i)の圧接部は、片ぶくらの外観形状を呈す。圧接面は写真-9に示されるように、ぶくらの小さい側の外周部に三日月状の黒灰色欠陥を有する。この欠陥は、突き合わせ時に隙間の最も大きい部分に相当し、加圧力の不足や初期加圧時において隙間が閉じる前に還元炎から中性炎に変った等の理由で生じたものと考えられる。これらの圧接部は、規格値未満の引張り強さで圧接面破断する場合がある。黒灰色欠陥は圧接面の外周部に位置し、探傷可能領域内にないために最大エコー高さも

低い。

上記(ii)の加熱中心が突き合わせ中心から離れた場合、圧接面のぶくらみ中央から離れた部分に位置するようになる。この場合、反射エコーは所定の探触子位置では検出できない。また、エコーが検出されてもビーム路程が大きく異なるために、妨害エコーと判断してしまう。したがって、超音波探傷で見逃す場合がある。

既報(その3)における理論的な検討、同(その4)における現場調査および本実験結果から、上記(i), (ii)で示される施工条件で圧接したと考えられる圧接部が現場に実在し、それらは理論的に予測される最大エコー高さと引張り強さの相関関係ははずれる場合があるといえる。したがって、現場での異形鉄筋のガス圧接部の品質管理に超音波探傷法を用いる場合は、以下の点に注意する必要がある。

① α型端面は、端面が軸心に対して直角になるようにグラインダがけ、もしくは切断する。

② 端曲がりの端面は切断して端曲がり形状をなくす。

③ 片ぶくらみ形状の圧接部が発生した場合、上記(i)の状態では圧接していると予測されるので、端面処理方法の改善を行なう。

④ 突き合わせ中心と加熱中心が一致しないのは、作業員のモラル、足場、作業時(夜間)等の原因が考えられる。外観観察において、圧接面とぶくらみ中央とが一致しない圧接部が存在した場合、その原因を探って何らかの処置をとらなければならない。

## § 4. 不良な圧接部の検出能を考慮した検査特性および AOQ 曲線

### 4.1 検出能の定義

既報(その4)における現場調査結果および前節での実験で明らかになったように、引張り強さが規格値未満の圧接部を超音波探傷法で見逃す場合がある。本探傷法を用い、現場で抜取検査を行なう場合には、引張り強さが規格値未満の圧接部の検出能を考慮した検査特性曲線、および AOQ 曲線が必要となる。

ここで、最大エコー高さと引張り強さの相関関係が、現場での調査結果や理論的な検討結果からも明らかのように、ある幅を持って分布している点を考慮しなければならない。すなわち、超音波探傷で得られた最大エコー高さの合否判定のしきい値(以下、合否判定レベルと呼ぶ)の位置によって、規格値未満の引張り強さを有する圧接部の検出確率が異なる。この確率は、合否判定レベルをより低いエコーレベルにすれば1に近くなるが、逆に不合格と判定した圧接部の中の規格値以上の引張り強さを有する圧接部の割合が大きくなる。

図-9は、既報(その4)で建築および土木の現場において調査した試験体について、合否判定レベルを変化させたときの規格値未満の引張り強さを有する圧接部の検出率と、超音波探傷で不合格と判定する圧接部のうち規格値未満の引張り強さを有するものの割合を示したものである。同図に示されるように、合否判定レベルを-30 dB としても規格値未満の引張り強さを有する圧接部の検出率は1とはならないし、また不合格と判定した圧接部のうち規格値以上の引張り強さを有する圧接部の混入は避けられない。

ここで、検査特性曲線、AOQ 曲線の導出をするに当たり合否判定レベルを  $A(\text{dB})$  と定めた場合の不良な圧接部とは、規格値未満の引張り強さを有する圧接部の集合と最大エコー高さが  $A(\text{dB})$  以上の圧接部の集合の和集合と定義する。したがって、規格値以上の引張り強さを有しても、最大エコー高さが  $A(\text{dB})$  以上である圧接部は不良とする。これは、引張り強さが規格値以上であっても圧接面に欠陥が存在していることを示すものであり、品質管理的にも不良な圧接部と考えることは妥当であると考えられるからである。不良な圧接部をこのように定義したときの、合否判定レベルの変化による不良な圧接部の検出率の変化を図-10に示す。

### 4.2 計算式の導入

非破壊検査を用いる抜取検査方式で、最も一般的な計

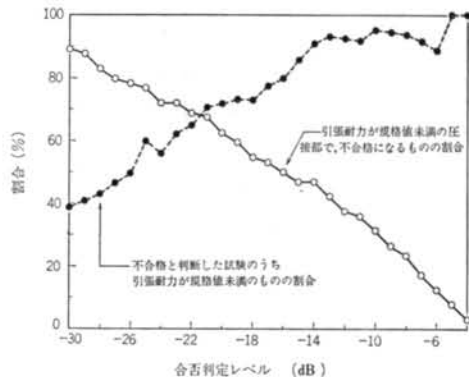


図-9 引張り強さが規格値未満の圧接部で不合格になるものの割合

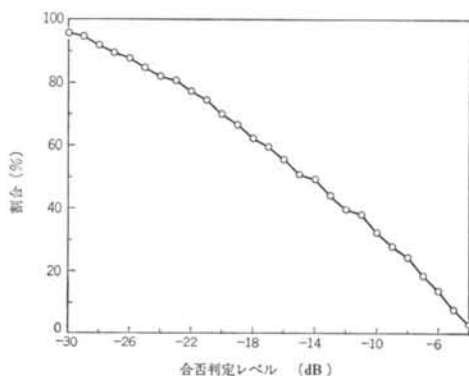


図-10 引張り強さが規格値未満の圧接部の集合(B)および合否判定レベル以上の最大エコー高さを有する圧接部の集合(C)の和集合(BUC)に対する集合Cの割合選別型1回抜取検査方式について考える。その他の検査方式についても、以下と同様な方法で考えることができる。不良品の検出確率を1とした場合のロットが合格する確率  $L(\bar{p})$ 、平均検品質  $\bar{p}_{AOQ}$  および検査率  $R$  については、既に計算式および代表的な場合の計算例が示されている<sup>6)</sup>。

ここで、非破壊検査の不良品の検出確率を  $\alpha$  とする。ロットの大きさを  $N$ 、抜取数を  $n$ 、許される不合格品数(合格判定箇數)を  $c$  とする。 $n$  箇抜き取ったうちの  $m$  箇 ( $m \leq n$ ) が非破壊検査で不合格と判定される確率は、抜取数  $n$  の中に不良品が  $(m+q)$  箇入り、 $m$  箇が検出され  $q$  箇が見逃される確率  $\Delta L(\bar{p})$ :

$$\Delta L(\bar{p}) = \frac{\binom{\bar{p}N}{m+q} \binom{N-\bar{p}N}{n-m-q}}{\binom{N}{n}} \alpha^m (1-\alpha)^q \quad \dots(1)$$

を、 $q=0$  から  $q=\min(n, \bar{p}N)-m$  まで総和した値:

$$\sum_{q=0}^{\min(n, \bar{p}N)-m} \Delta L(\bar{p}) \quad \dots(2)$$



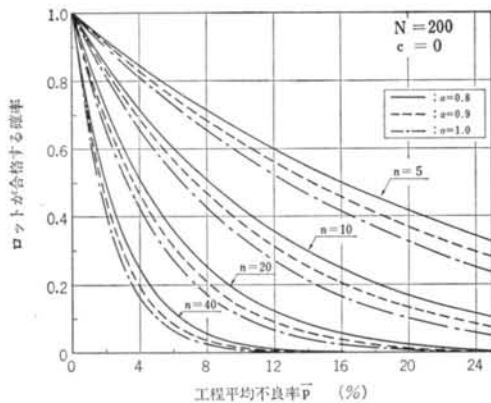


図-11(a)  $N=200$ ,  $n=5, 10, 20, 40$ ,  $c=0$  の場合の OC 曲線

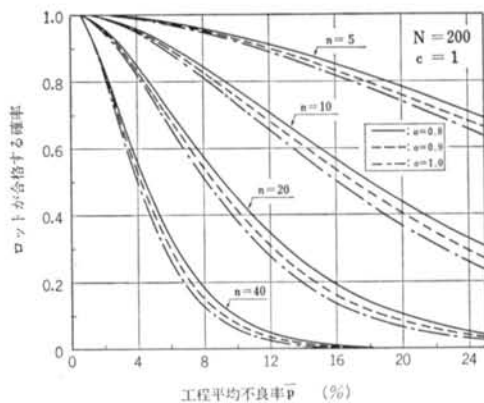


図-12(a)  $N=200$ ,  $n=5, 10, 20, 40$ ,  $c=1$  の場合の OC 曲線

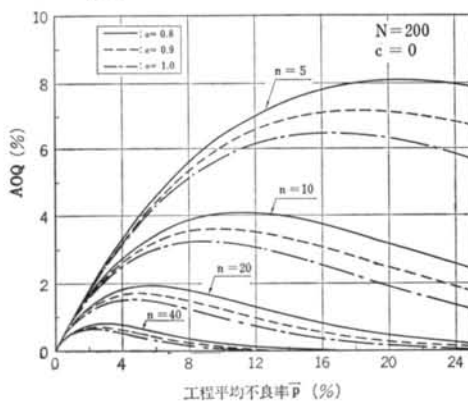


図-11(b)  $N=200$ ,  $n=5, 10, 20, 40$ ,  $c=0$  の場合の AOQ 曲線

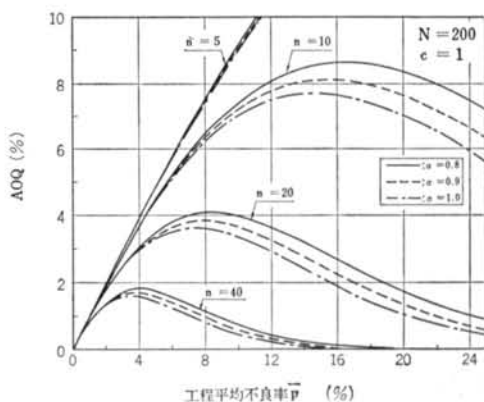


図-12(b)  $N=200$ ,  $n=5, 10, 20, 40$ ,  $c=1$  の場合の AOQ 曲線

で表わされる。ここで、 $\bar{p}$  はロットの工程平均不良率を表わす。したがって、ロットが合格する確率  $L(\bar{p})$  は式(2)を、 $m=0$  から  $m=c$  まで総和した値となる。

$$L(\bar{p}) = \sum_{m=0}^c \sum_{q=0}^{\min(n, \bar{p}N) - m} \Delta L(\bar{p}) \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 $x = m + q$  と置きかえると、

$$L(\bar{p}) = \sum_{m=0}^c \sum_{x=m}^{\min(n, \bar{p}N)} \frac{(\bar{p}N)^x (N - \bar{p}N)^{N-x}}{\binom{N}{x}} \alpha^m (1-\alpha)^{N-x-m} \quad \dots\dots(4)$$

となる。 $\bar{p}_{AOQ}$  および  $R$  は式(4)を用いて表わされ、

$$\bar{p}_{AOQ} = \bar{p}L(\bar{p}) - \frac{n}{N} \bar{p}L(\bar{p}) \quad \dots\dots(5)$$

$$R = \frac{n}{N} L(\bar{p}) + 1 - L(\bar{p}) \quad \dots\dots(6)$$

となる。

#### 4.3 計算例

異形鉄筋のガス圧接部の典型的なロット数、抜取数、合格判定箇數について、式(4)および式(5)を超幾何分布を用いて計算した。図-11(a)はロット数  $N=200$ 、合格判定箇數  $c=0$  で抜取数  $n$  を 5, 10, 20, 40 としたときの検査特性曲線で、それぞれ  $\alpha=1, 0.9, 0.8$  とした場合である。同(b)は(a)と対応した AOQ 曲線である。図-12(a)は、図-11と同様の条件で  $c=1$  とした場合の検査特性曲線、同(b)は AOQ 曲線である。

図-13は  $N=200$ ,  $n=5, 10, 20, 40$ ,  $c=0$  の場合の不良な圧接部の検出率と AOQL の関係を示したものである。図-14は、図-13と同様な条件で  $c=1$  とした場合である。

図-15は  $N=200$ ,  $n=5, 10, 20, 40$ ,  $c=0$  の場合、工程平均不良率 1% の生産者危険を表わしたものである。図-16は、図-15と同様な条件で  $c=1$  の場合の生産者危険である。図-17, 18は工程平均不良率 8% の消費者

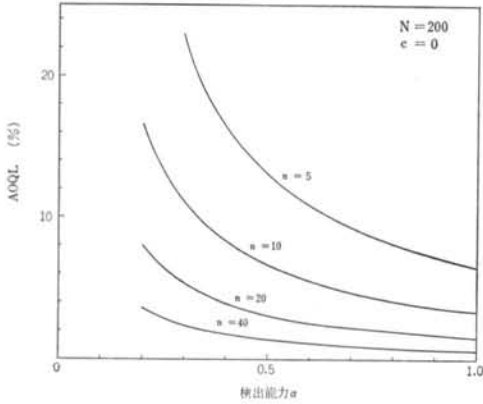


図-13 検出能力  $\alpha$  と AOQL の関係 ( $N=200, c=0$ )

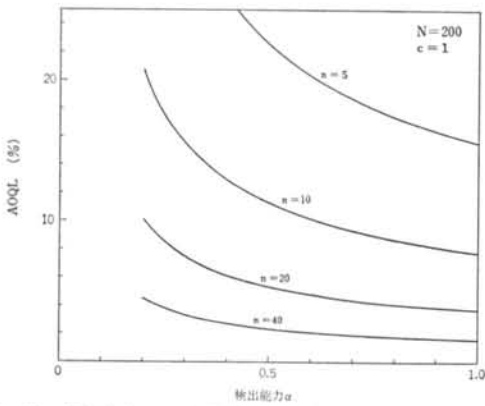


図-14 検出能力  $\alpha$  と AOQL の関係 ( $N=200, c=1$ )

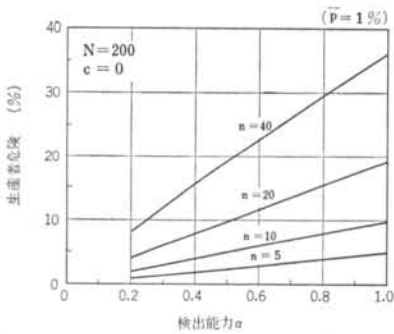


図-15 工程平均不良率  $\bar{p}=1\%$  の場合の生産者危険と検出能力  $\alpha$  との関係 ( $N=200, c=0$ )

危険を表わしたもので、それぞれ  $c=0, 1$  の場合である。ここで、工程平均不良率を  $1\%$  および  $8\%$  としたのは、既報(その4)における現場の圧接部の調査でほとんどの現場の不良率は  $1\%$  未満であったこと、および最も不良率の高い現場で  $8\%$  弱であったことによる。

以上の解析結果から次のことがいえる。

(i) 非破壊検査における不良品の検出確率が  $1$  でなくて

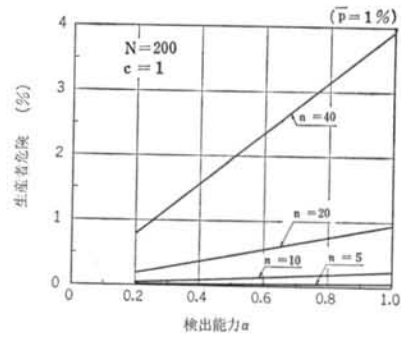


図-16 工程平均不良率  $\bar{p}=1\%$  の場合の生産者危険と検出能力  $\alpha$  との関係 ( $N=200, c=1$ )

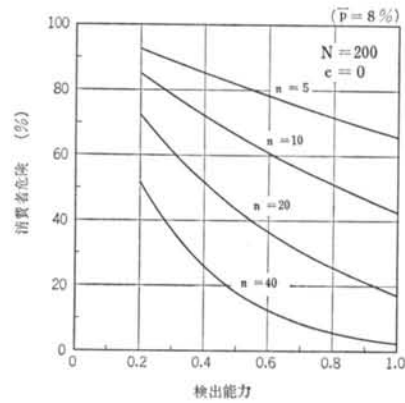


図-17 工程平均不良率  $\bar{p}=8\%$  の場合の消費者危険と検出能力  $\alpha$  との関係 ( $N=200, c=0$ )

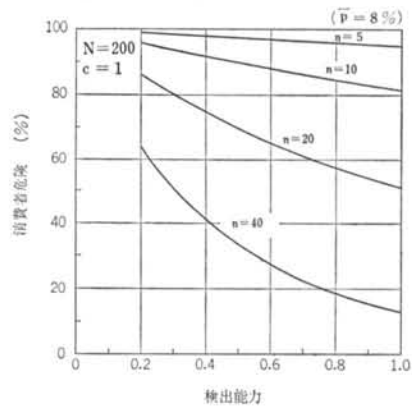


図-18 工程平均不良率  $\bar{p}=8\%$  の場合の消費者危険と検出能力  $\alpha$  との関係 ( $N=200, c=1$ )

もその値が定量できれば、検査特性曲線および AOQ 曲線を得ることができる。したがって、生産者危険、消費者危険、AOQL 等の概念を用いて抜取方式を定めることが可能である。

(ii) 検出能力と AOQL の関係は、 $\alpha > 0.7$  の領域でな

だらかな変化を示し、 $\alpha$ による大きな変化はない。 $\alpha < 0.5$ の領域では $\alpha$ が小さくなるにつれ AOQL は急激に増加する。したがって、 $\alpha > 0.7$ の領域では設定したい AOQL に対し現実的な抜取方式の選択が可能であるが、 $\alpha < 0.5$ の領域では $\alpha=1$ の場合に対し抜取数をかなり大きくとる必要がある。

(ii)生産者危険と検出能力はほぼ比例する。また、同一の検出能力で $c$ が一定であれば、抜取数 $n$ と生産者危険もほぼ比例する。したがって、生産者危険の概念で抜取方式を選ぶ場合、検出能力と抜取数はほぼ反比例する。例えば、ある生産者危険に対し $\alpha=0.8$ の場合は、 $\alpha=1.0$ の場合より1.2倍程度抜取数を増やす必要がある。

(iii)異形鉄筋のガス圧接部の超音波探傷法の場合、合否判定レベルを適当にとることにより $\alpha > 0.7$ とすることが可能である。したがって、設定した AOQL、生産者危険および消費者危険に対して実行可能な範囲で抜取方式を定めることができる。

## § 5. まとめ

既報(その4)における現場の圧接部の調査で明らかになった引張り強さが規格値未満で、かつ最大エコー高さが低い圧接部が存在する理由について、同報告における考察に基づいて再現実験を行なった。その結果、次のことが明らかになった。

(i) $\alpha$ 型端面同士を隙間がV字形になるように突き合わせて圧接したもの、および端部が端曲がりの状態で圧接したものは、最大エコー高さが $-30$  dB 以下で規格値以下の引張り強さで圧接面破断する場合がある。このとき、外観形状は片ぶくらみとなる。

(ii)加熱中心が端面突き合わせ中心から $10$  mm 前後離れていた圧接部は、規格値未満の引張り強さで圧接面破断するが、超音波探傷で見逃す場合がある。

そして、最大エコー高さが低い理由、また超音波探傷法を用いて品質管理を行なう場合に、このような圧接部の存在に対する対策を考察した。

次に、不良な圧接部を見逃す確率を考慮した計数選別型1回抜取検査における検査特性曲線 $L(\bar{p})$ を導出し、代表的な例について $L(\bar{p})$ 、AOQを計算した。その結果、以下の点が明らかになった。

(1)不良な圧接部の検出確率が1でなくても、その値が定量できれば検査特性曲線およびAOQ曲線を得ることができる。したがって生産者危険、消費者危険、AOQL等の概念を用いて抜取方式を定めることができる。

(2)合否判定レベルを適当に選ぶことにより不良な圧接部の検出能を $0.7$ 以上にすることが可能であり、設定した AOQL、生産者危険および消費者危険に対して実行可能な範囲で抜取方式を定めることができる。

謝辞 本研究の実施に当たり、懇切なご教示を頂きました東京工業大学精密工学研究所教授奥島基良博士、同工業材料研究所教授黒正清治博士に深い謝意を表します。

## <参考文献>

- 1) 日本圧接協会：“座談会——建築設計者から見た圧接” 圧接 Vol.17, No.2 (1982年) pp.1~7
- 2) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持貢：“鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その1, 欠陥性状の把握と探傷手法の検討)” 清水建設研究報告 第40号 (1984年10月)
- 3) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持貢, 藤盛紀明：“鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その2, 品質評価手法の検討)” 清水建設研究報告 第41号 (1985年4月)
- 4) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持貢, 藤盛紀明：“鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その3, 最大エコー高さと引張り力の相関関係に関する考察)” 清水建設研究報告 第42号 (1985年10月)
- 5) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 小早川恵実, 藤盛紀明：“鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その4)” 清水建設研究報告 第43号 (1986年4月)
- 6) 朝香鉄一編：“品質管理講座・抜取検査” 日本規格協会

