

鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論 (その4)

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
(企画本部)

§ 1. はじめに

既報(その1)では、異形鉄筋のガス圧接工事現場(以下、現場と呼ぶ)の圧接部に生ずる欠陥の性状調査および実験を行ない、欠陥の種類とその力学的性状および超音波の反射特性を明らかにした。そして、欠陥検出能が最も高くなるような超音波の振動モード、周波数、入射角および接触媒質等の探傷条件を実験から求めた。これらの基礎実験結果を基に、圧接面上の欠陥検出の方法として、鉄筋表面上に軸方向に走る2本の縦リブからの2探触子法(図-1)を提案した。また、その場合の基準感度の設定方法として、2探触子法におけるリブ間の透過パルスレベルの最大値を提案した。

既報(その2)では、先に提案した探傷条件および探傷方法を実験室的に製作した圧接部に適用し、得られた種類の超音波探傷情報と圧接部が有する引張り強さや欠陥面積比率等の特性とを比較検討した。そして、リブからの2探触子法で得られる最大エコー高さによって圧接部の品質を評価する手法を提案した。これは、実験により明らかになった最大エコー高さとの引張り強さの相関関係に根拠を置くものである(図-2)。

既報(その3)では、最大エコー高さとの引張耐力の相関関係が成立する理由について考察した。まず、圧接面内の探傷可能領域を求めた。探傷可能領域は、鉄筋中心を中心とし縦リブ方向に長い楕円で近似でき、その面積は母材断面面積の約26%、圧接面が母材断面面積の2倍であるとする圧接面面積の約13%となる(図-3)。次に、現場の圧接部117体の圧接面の調査によって欠陥の圧接面内発生分布を実測した。そして、中央部ではほぼ均一な発生密度分布を示すが、外周部では中央部より大きな値を示し、最外周部では中央部の2.5倍の発生密度となること分かった。欠陥の発生密度分布と探傷可能領域から、圧接面全面の欠陥面積率と探傷可能領域内の欠陥面積率の関係を確認的に求めた。これを基本軸として、

i) 探傷可能領域内の欠陥面積率の関係

ii) 圧接部の引張り強さと欠陥面積率の関係

を用いて、最終的に最大エコー高さとの引張り強さの関係を導いた(図-4; D32の場合)。そして、最大エコー高さとの引張り強さの相関関係は必然性を有するものであること、およびこの相関関係は鉄筋径に依存せず成立する

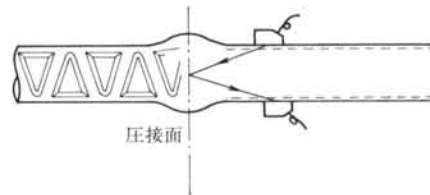


図-1 鉄筋のリブからの2探触子K走査法

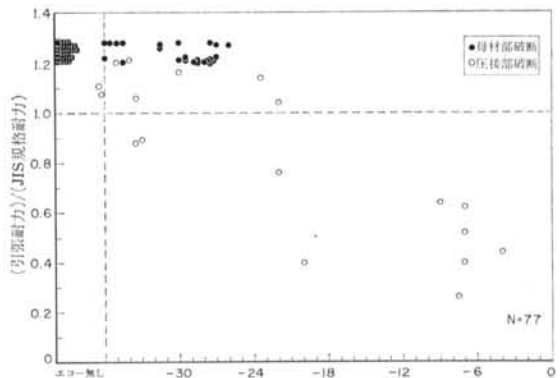


図-2 探触子距離任意方式で得られたエコー高さとの引張り強さの関係

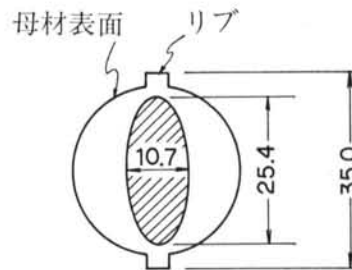


図-3 呼び名D32の探傷可能領域(斜線部)

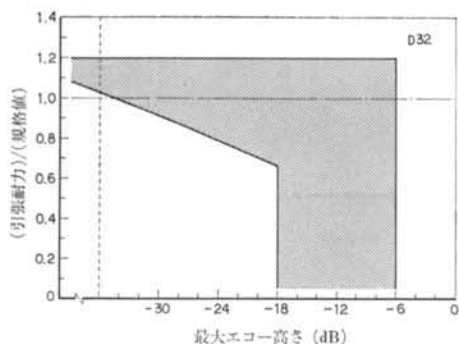


図-4 最大エコー高さと引張り強さの相関関係の理論値(D32)ことを明らかにした。

既報で提案した探傷条件・方法および評価手法は、室内での実験結果および理論的な検討結果に基づくものであった。本報告の第一の目的は、提案された探傷条件・方法を現場の圧接部に適用し、評価手法の提案の根拠となっている最大エコー高さと引張り強さの相関関係が、現場の圧接部についても成立するか否かを論ずることである。

第二の目的は、超音波探傷法の現場圧接部への適用とそれに付随して圧接部の品質を調査した事例はなく、鉄筋ガス圧接部の品質の現状は不明であった。現場の圧接部の調査によって判明する事柄は、今後のガス圧接工事の施工管理、超音波探傷法の現場への適用方法の検討等に資することができる。

§ 2. 建築現場の圧接部への適用

2.1 適用方法

建築現場の圧接部に関する最大エコー高さと引張り強さのデータの収集・蓄積は、以下に述べる2つの方法で行なった。

i) 関東地方周辺の一般の建築工事現場において専用簡易探傷器⁹⁾を用いて探傷試験を行ない、一部の圧接部を供試体として切り取り、引張試験を行なう。切り取りの基準は、欠陥エコーが検出された圧接部に対しては原則として全数、検出されなかった圧接部に対してはランダムに2.5%を抜き取る。なお、引張試験に先立ちCRT付きのAスコープ探傷器を用いて再探傷した。この方法により、1,421体の圧接部の最大エコー高さと引張り強さのデータを採取した。

ii) 従来からの圧接部の検査方法である引張試験を行なうために、現場から切り取られた圧接部に対し、引張試験に先立ちCRT付きのAスコープ探傷器を用いて超音

| 呼び名 | 切り取り本数 | |
|-----|----------|-----------|
| | i) による抜取 | ii) による抜取 |
| D19 | 0 | 71 |
| D22 | 421 | 494 |
| D25 | 757 | 468 |
| D29 | 103 | 103 |
| D32 | 83 | 60 |
| D35 | 57 | 0 |
| D38 | 0 | 1098 |
| 計 | 1421 | 2294 |

表-1 建築現場から切り取った供試体の内訳

波探傷法を適用し、最大エコー高さと引張り強さを求める。主として、これまでに関東周辺の100以上の現場の約2,300体の圧接部に関するデータが収集された。

ここで、ii)の現場における抜取方法については筆者らの管理下でないために、無作為抽出か外観で特に悪いものを抜き取ったのかは判然としていない。ただし、対象となった圧接部はいずれも外観検査で合格となったものである。表-1は、上記の2つの方法で収集した3,715体の圧接部の呼び名毎の内訳を示したものである。材質は主にSD35である。

超音波探傷試験には、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を用いた。基準感度はリップ間の透過パルスレベルの最大値とし、探傷走査は圧接部をはさむ両側で行なった。

2.2 適用結果

建築現場の圧接部3,715体に関する最大エコー高さと引張り強さの関係を図-5に示す。ここで、最大エコー高さとしては引張試験前に行なったCRT付きAスコープ探傷器で得られた値を採用している。同図において、黒丸は引張試験で母材部破断した試験体を、白丸は圧接面破断したものを示す。縦軸はJIS規格値を1としたときの引張強度を表わしたもので、母材で破断するものは大体1.2程度の強度を有する。また、横軸はリップ間の透過パルスを基準(0dB)としたときの最大エコー高さを示したものである。「エコー無し」領域は、反射エコー高さが林状エコーレベル(-36dB)以下であることを示す。

表-2は、超音波探傷試験法を適用した16の建築現場における探傷箇所数と、その中で-24dB以上の最大エコー高さを示した圧接部数を示したものである。ここで-24dBを基準としたのは、室内での結果(図-2)および建築現場での調査結果(図-5)において、若干の例外を除いて引張り強さが規格値以下の圧接部は-24dB以上の最大エコー高さを示していたことによる。

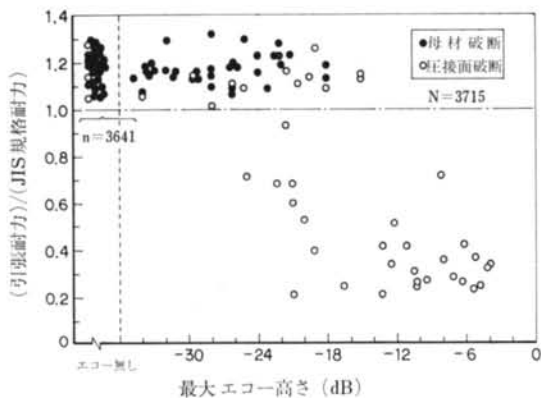


図-5 建築現場から切り取った圧接部の最大エコー高さと引張り強さの関係

| 現場名 | 材質・呼び名 | 圧接箇所数 | 検査箇所数 | -24dB以上上の本数 | 率 (%) |
|-----|--------------|-------|-------|-------------|-------|
| A | SD35, D22~29 | — | 3149 | 15 | 0.5 |
| B | 〃 | 6015 | 923 | 9 | 1.0 |
| C | 〃 | 11117 | 2680 | 17 | 0.6 |
| D | 〃 | 2395 | 597 | 1 | 0.2 |
| E | 〃 | 517 | 249 | 7 | 2.8 |
| F | 〃 | — | 1250 | 1 | 0.1 |
| G | 〃 | 329 | 329 | 1 | 0.3 |
| H | 〃 | — | 1669 | 3 | 0.2 |
| I | 〃 | — | 1000 | 3 | 0.3 |
| J | 〃 | 1150 | 519 | 8 | 1.5 |
| K | 〃 | — | 1244 | 4 | 0.3 |
| L | 〃 | 39047 | 6077 | 11 | 0.2 |
| M | 〃 | 12084 | 1224 | 7 | 0.6 |
| N | 〃 | 30745 | 5047 | 11 | 0.2 |
| O | 〃 | 35763 | 3602 | 14 | 0.4 |
| Q | SD35, D38 | — | 1098 | 0 | 0 |

表-2 建築現場における超音波探傷による不良率の例

§ 3. 土木現場の圧接部への適用

3.1 適用方法

(1)適用対象現場および圧接部

全国各地の高架工事の30現場を対象とし、図-6に示すような手順で調査を行なった。現場において超音波探傷法を適用した圧接部数は、20,574体であった。このうち578体を抽出して切り取り、運搬中に圧接面破断した2体を除いた576体を引張試験用供試体とした。

表-3に適用現場および探傷箇所数を示す。鉄筋は、主に材質SD30の高炉製鉄筋で、呼び名はD25, D29, D32, D35およびD38である。

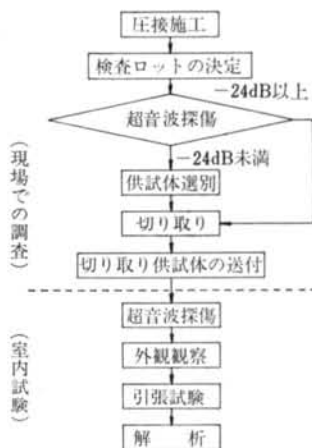


図-6 調査手順

| 地方 | 現場 | UT本数 | -24dB以上の本数 | 予告の有無 | 切り取り本数 |
|-----|----------------|------------|--------------------|--------|-----------|
| 北海道 | a ₁ | 1,012 | 2(0.20%) | 有 | 27(2.7%) |
| | a ₂ | 639 | 1(0.16) | 有 | 16(2.5) |
| | a ₃ | 494 | 2(0.40) | 有 | 12(2.4) |
| 東北 | b ₁ | 204 | 2(0.98) | 有 | 7(3.4) |
| | b ₂ | 216 | 0(0) | 有 | 5(2.3) |
| | b ₃ | 774 | 0(0) | 有 | 8(1.0) |
| | b ₄ | 374 | 2(0.53) | 有 | 5(1.3) |
| | b ₅ | 216 175 | 0(0) 0(0) | 有 無 | 11(2.8) |
| 関東 | c ₁ | 1,089 | 2(0.18) | 有 | 31(2.85) |
| | c ₂ | 392 | 3(0.77) | 有 | 16(4.1) |
| | c ₃ | 620 | 4(0.65) | 有 | 16(2.6) |
| | c ₄ | 27 | 2(7.41) | 無 | 3(11.1) |
| 甲信越 | d ₁ | 658 345 | 5(0.76) 1(0.29) | 有 無 | 34(3.4) |
| | d ₂ | 103 | 5(4.90) | 無 | 10(9.7) |
| | d ₃ | 813 | 4(0.49) | 無 | 25(3.1) |
| | d ₄ | 85 | 0(0) | 無 | 3(3.5) |
| 中部 | e ₁ | 2,123 | 10(0.47) | 有 | 62(2.9) |
| | e ₂ | 366 | 4(1.10) | 有 | 16(4.4) |
| | e ₃ | 1,010 | 3(0.30) | 無 | 33(3.3) |
| | e ₄ | 1,038 | 2(0.19) | 有 | 30(2.9) |
| 近畿 | f ₁ | 2,495 | 0(0) | 有 | 43(1.7) |
| 中国 | g ₁ | 731 | 1(0.14) | 有 | 20(2.7) |
| | g ₂ | 239 | 0(0) | 有 | 5(2.1) |
| | g ₃ | 108 | 7(6.48) | 有 | 12(11.1) |
| | g ₄ | 500 | 1(0.20) | 有 | 26(5.2) |
| | g ₅ | 41 | 1(2.44) | 無 | 1(2.4) |
| 四国 | h ₁ | 1,546 | 2(0.13) | 有 | 42(2.7) |
| 九州 | i ₁ | 1,017 | 0(0) | 有 | 25(2.5) |
| | i ₂ | 1,006 | 0(0) | 有 | 29(2.9) |
| | i ₃ | 118 | 1(0.85) | 無 | 5(4.2) |
| 全工事 | | 20,574 | 67(0.33%) | — | 578(2.8%) |

注) UT: 超音波探傷検査

表-3 超音波探傷法を適用した現場、本数、不良率および切り取り本数

| 呼び名 材質 | D25 | D29 | D32 | D35 | D38 | 計 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SD30 | 12 | 69 | 468 | 0 | 6 | 555 |
| SD35 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 21 |
| 計 | 12 | 69 | 468 | 21 | 6 | 576 |

表一四 切り取り供試体の内訳

(2)超音波探傷試験と圧接部の切り取り

異形鉄筋のガス圧接工事の現場において、専用簡易探傷器もしくは CRT 付きの A スコープ探傷器を用い、ロット単位に超音波探傷試験を適用して各圧接部の最大エコー高さを求めた。ここでいうロットとは、1 圧接班が 1 日に施工したものの集合を指す。また、超音波探傷試験の適用に際し、現場での試験を予告して行なった場合と予告なしで抜き打ち的に試験を行なった場合の結果をまとめ、その有意差についても検討した。

超音波探傷試験において最大エコー高さが -24 dB 以上の圧接部は原則として切り取り、引張試験用供試体とした。また、-24 dB 未満の圧接部についても 2.5% の割合でランダムに切り取り、引張試験用供試体とした。ここで、-24 dB をしきい値としたのは 2.2 で述べた理由と同じである。表一三に現場ごとの切り取り供試体の数を示す。引張試験用に切り取られた 576 体の呼び名毎の内訳を表一四に示す。

(3)引張試験用供試体の超音波探傷試験

切り取られた供試体を全国から 1 箇所に集め、再度室内において超音波探傷試験を行なった。この超音波探傷試験と同時に、576 体の圧接部に対して外観形状の観察を行なった。観察項目は、ふくらみ径、ふくらみ幅、偏心、折れ曲がりである。その他に、これらの特性値で表現できない様な外観上の特徴も記録した。

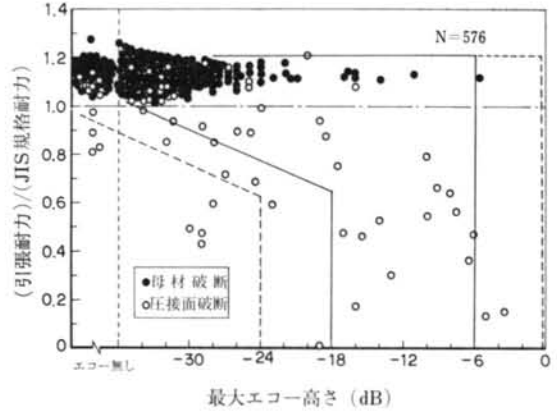
(4)引張試験

室内での超音波探傷試験および外観観察の後に、アムスラー型万能試験機を用いて引張試験を行ない、圧接部の引張り強さを求めた。

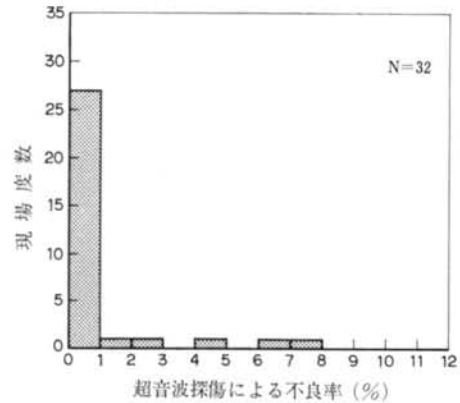
3.2 適用結果

(1)最大エコー高さと引張り強さの相関関係

室内での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図一七に示す。ここで、最大エコー高さの値としては、引張試験前の室内における CRT 付き A スコープ探傷器で得られた値を用いている。なお、現場探傷において -24 dB 以上であったものが、室内探傷で -24 dB 未満になる圧接部も存在した。また、この逆になるものも存在した。大内らの研究²⁵⁾によれば、圧接部の超音波探傷試験における最大エコー高さは、その



図一七 切り取り供試体についての最大エコー高さと引張り強さの関係(土木現場)



図一八 超音波探傷による不良率の分布

| 予告の有無 | 検査箇所数 | -24dB以上の本数 | 率(%) |
|-------|--------|------------|------|
| 有 | 17,875 | 50 | 0.28 |
| 無 | 2,715 | 17 | 0.63 |

表一五 検査の予告の有無と超音波探傷による不良率

| 外観上の特徴 | 検査の予告の有無と超音波探傷による不良率 | | | | | | | | | |
|--------|----------------------|-------|-------|-----|-----|------|--------|-----|--------|-----|
| | 良 | 片ふくらみ | ぶたれ下り | 過熱 | つば型 | 焼き割れ | 圧接面の傾き | 偏心 | ふくらみ不足 | その他 |
| 供試体数 | 321 | 74 | 43 | 48 | 26 | 7 | 22 | 6 | 7 | 22 |
| 率(%) | 55.7 | 12.8 | 7.5 | 8.3 | 4.5 | 1.2 | 3.8 | 1.0 | 1.2 | 3.8 |

表一六 切り取り供試体の外観上の特徴

絶対値にかかわらず標準偏差 2.6 dB の正規分布でばらつく。上記のばらつきもこれによるものと考えられる。縦軸、横軸および記号は図一五の場合と同様である。ここで、図中の実線は図一四に示される理論値の範囲を、点線はその理論値に対し標準偏差の 2 倍のばらつきを考慮したときの範囲を示している。

(2)現場における超音波探傷試験結果

現場での探傷試験において -24 dB 以上の最大エコー

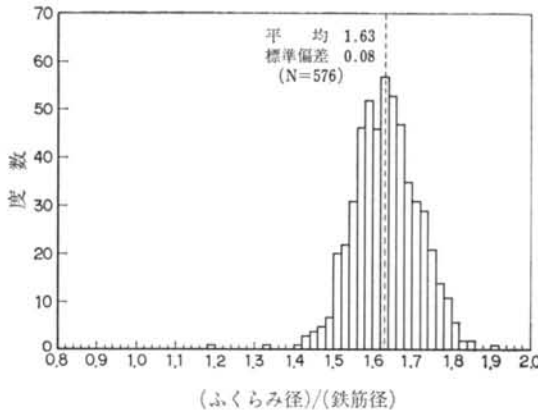


図-9 ふくらみ径の頻度分布

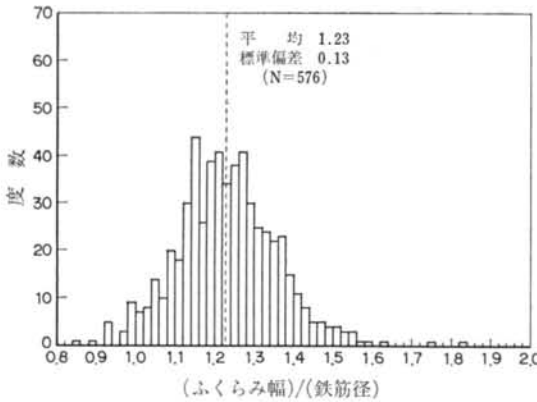


図-10 ふくらみ幅の頻度分布

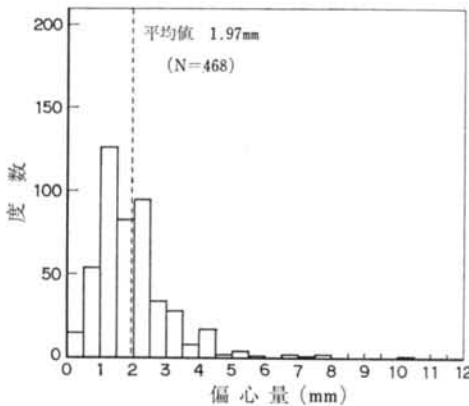


図-11 偏心量の頻度分布

高さを示した圧接部数およびその割合を表-3に示す。この数および割合は、全体でそれぞれ67体、0.33%である。個々の現場における-24 dB以上の最大エコー高さを示す圧接部の割合の頻度分布を図-8に示す。ここでは、同じ現場で異なる時期に2回の調査を行なった場合は2現場として数えた。-24 dB以上の最大エコー高さ

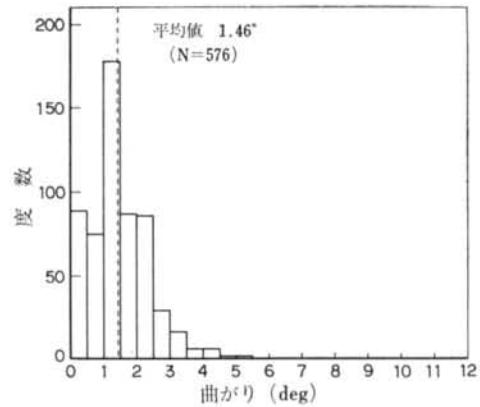


図-12 曲がりの頻度分布

を示す圧接部の割合はほとんどの現場で1%未満であったが、7~8%にも達する現場も存在し、ばらつきが大きい。

表-5は、この割合を超音波探傷試験の予告の有無で分けてまとめたもので、予告をした場合は予告しない場合に比べ、-24 dB以上の最大エコー高さを示す圧接部の割合は1/2以下の値となっている。

(3) 切り取り供試体の外観形状

表-6は、切り取り供試体の外観上の特徴をまとめたものである。

図-9はふくらみ径の頻度分布を示したものである。ふくらみ径の鉄筋径に対する比は平均値で約1.6となっており、1.4~1.8に分布している。図-10はふくらみ幅の頻度分布を示したものである。ふくらみ幅の鉄筋径に対する比は平均値で1.23となっており、0.9~1.6と幅広く分布している。図-11は切り取り供試体のうち、呼び名D32(468体)における偏心の頻度分布を示している。最頻値は1~1.5 mmの領域で、平均は1.97 mmであった。図-12は曲がりの頻度分布を示したものである。最頻値は1~1.5°で平均値は1.46°であった。

§ 4. 考察

4.1 最大エコー高さと引張り強さの相関関係

建築現場の圧接部への超音波探傷法の適用結果である図-5は、既報(その3)での理論的な予測(図-4)とよく一致している。ただし、図-4においては引張り強さがJIS規格値の0~0.7倍であるような圧接部は-18 dB以上の最大エコー高さを示すが、図-5においては-22 dB以上のエコー高さを示す。先に述べたように、大内らの研究⁵⁾によれば圧接部の超音波探傷試験における最大エ

コー高さはその絶対値にかかわらず、標準偏差 2.6 dB の正規分布でばらついている。したがって、引張り強さが規格値の 0~0.7 倍である圧接部の -18 dB~-22 dB の最大エコー高さは、理論的には -18 dB 近傍の最大エコー高さをもたらず欠陥からのエコーが標準偏差の 2 倍程度ばらついたものと考えられる。また、理論的には最大エコー高さが -14 dB~-6 dB の領域に存在していても規格値以上の引張り強さを示す圧接部の存在が許されたが、図-5 ではこのような圧接部は存在しない。すなわち、-14 dB 以上の最大エコー高さを示す圧接部は、すべて規格値以下の引張り強さで圧接面破断している。なぜ理論的に許されたものが現場に存在しないか疑問であるが、後の土木現場の結果ともあわせて考察しなければならない。なお、非破壊試験結果と破壊試験結果との一致という面から見ると、このことは好都合である。-24 dB 以上の最大エコー高さを示す圧接部のうち、規格値以上の引張り強さを示すものは約 1/3 である。

既報(その2)の室内実験結果(図-2)と図-5を比較しても、両者はよく一致しているといえる。図-2では引張り強さが規格値の 0.8~0.9 倍で最大エコー高さが -33 dB 近傍の圧接部が存在する。これは、端面が発錆した状態で圧接試験体を製作したものの一部である。図-5では、この領域に相当する圧接部は存在しない。現場においては端面のグラインダがけ等の最低限の施工管理が行なわれていることを示唆していると考えられる。

土木現場の圧接部への適用結果である図-7では、図-4に示される理論値からはずれる試験体が13体存在する。上記した最大エコー高さのばらつきを標準偏差の2倍の幅で考慮しても、7体が理論的な予測結果と一致していない。この7体の圧接部の外観上の特徴は「片ぶくらみ」もしくは圧接面がふくらみの中央からずれている点である。「片ぶくらみ」とは、写真-1に示されるような形状でふくらみが1方向のみ生じ、鉄筋軸芯に対して非対称となるようなものである。「片ぶくらみ」が生ずる原因は次のように推定できる。機械切断(シャー切断)した端面は一般に軸芯に対して傾きを有する(写真-2)。端面が軸芯に対して直角になるように修正しな

いで端面を突き合わせると、2つの端面はV字形の隙間を作る。この状態で加熱・加圧すれば接触している部分だけが加圧され、その外側にのみふくらみが形成されて行くことになる。このとき、隙間の大きい方向に折れ曲がりが生ずることもある。

「片ぶくらみ」形状の圧接部の破断圧接面の一例を写真-3に示す。引張強度の特に低い黒灰色欠陥部²⁾が、端面突き合わせ時に隙間の大きかった部分に相当する圧接面外周部に生じるため、リブからの2探触子法での最大エコー高さが低かったものと考えられる。引張試験時に、外周部の黒灰色欠陥によるノッチ効果で圧接面破断したものと考えられる。

また、圧接面がふくらみの中央からずれていた圧接部は、加熱中心が端面突き合わせ中心からずれていたため生じたと考えられる。このような圧接部に超音波探傷法を適用した場合、反射源が圧接部の中央に存在しないため、欠陥からのエコーを妨害エコーとみなして見逃したと推定できる。

図-4の理論予測値をはずれる圧接部が存在する理由に関する上記の考察を確認するための再現実験は、次報で報告する。

その他の圧接部については、建築現場への適用結果とよく一致しており、基本的には既報(その2)における実験結果(図-2)および本報における理論値ともよく一致しているといえる。

また、建築現場の圧接部に関するデータ(図-5)においては、最大エコー高さが -14 dB 以上で、かつ引張り強さが規格値以上の圧接部は理論的にその存在が許されるにもかかわらず、存在しなかった。図-7においては若干(3体)ではあるが存在する。この圧接部については耐力は規格値以上のものを持っているが、内部に欠陥を含んでいることは間違いないので、非破壊試験において不合格としても不合理とはならないと考えられる。

4.2 現場の圧接部の不良率と超音波探傷法適用の効果

圧接部の不良の定義は議論する目的によって異なるが本節では、超音波探傷法において -24 dB 以上の最大エ



写真-1 「片ぶくらみ」形状



写真-2 機械切断した状態の鉄筋端面

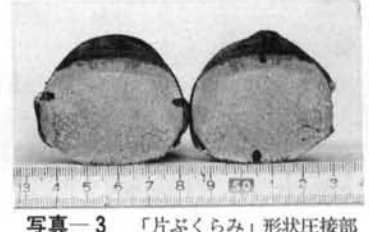


写真-3 「片ぶくらみ」形状圧接部の破断圧接面

コー高さが検出された圧接部を不良圧接部と呼ぶこととする。-24 dB をしきい値としたのは 2.2 で述べた理由と同じである。

図-8 は全国における現場の圧接部の不良率の現状を示していると考えられる。従来の品質確認法である破壊試験ではロットの大きさ $N=200$ 、抜き取り個数 $n=5$ 、合格判定個数 $c=0$ という抜取試験が行なわれている。この場合の AOQL(平均出検品質限界) は筆者が超幾何分布を用いて計算した結果によると 6.7% と非常に高く、現場の圧接部の不良率の現状とそぐわないことが明らかである。現場の圧接部の検査に当たっての AOQL の設定は、構造物や部位によって設計思想が異なるので一概には論じられないが、例えば不良率はほとんどの現場で 1% 未満であるので、AOQL を 1% と設定すれば $N=200$ 、 $n=34$ 、 $c=0$ の計数選別型 1 回抜取検査を行えばよい。この抜取率は超音波探傷を用いれば可能である。

また、表-5 に示されるように超音波探傷試験の実施を予告することによって圧接施工者に対する心理的効果が生じ、これが不良率の低減に寄与する。この心理的効果も超音波探傷法の一効果といえる。

4.3 外観観察結果

(1) 「片ぶくらみ」形状

「片ぶくらみ」形状の圧接部が生ずる原因は 4.1 で述べたように機械切断した状態の端面同士で突き合わせ、隙間が非常に大きな (5~10mm) 状態で施工することと考えられる。(財)日本圧接協会の工事標準仕様書⁶⁾ では端面突き合せ時の隙間は 3mm 以下でなければならないと規定されているが、本調査において「片ぶくらみ」と判定されたものは 3mm を大きく上回る隙間を有していたと推定できる。これは、機械切断された鉄筋端面の軸心に対する傾きが大きい (俗に、端曲がりと呼ばれている端面) ため、グラインダによる端面修正作業に多大の時間を要することになるが、現実にはこの修正作業が行なわれていないことによるものと考えられる。鉄筋切断方法の改善、端面処理方法の改善が必要である。

(2) ふくらみ径

ふくらみ径の頻度分布は図-9 に示されている。上記の工事標準仕様書⁶⁾ ではふくらみ径は鉄筋径の 1.4 倍以上と規定されているので、これを満足するために多少ふくらみが大きくなるように作業する傾向が認められる。

(3) ふくらみ幅

ふくらみ幅については上記仕様書に明確な規定はないが、通常鉄筋径の 1.2 倍程度が適切であるといわれている。本調査結果(図-10)では平均値が 1.23 となっており



図-13 圧接部におけるふくらみ径(D')とふくらみ幅(W)

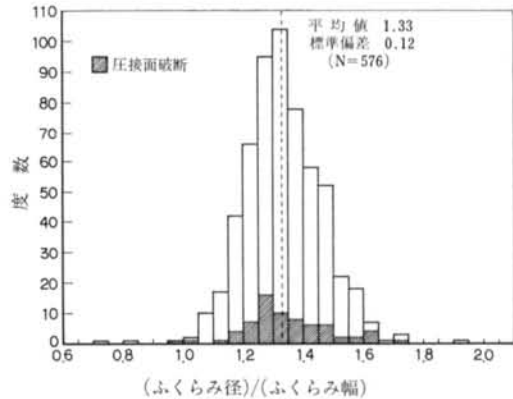


図-14 (ふくらみ径)/(ふくらみ幅)の頻度分布

特に大きな問題はない。

(4) 偏心, 曲がり

図-11 に D32 の 468 体に関する偏心の分布を示している。上記仕様書では偏心量は鉄筋径の 1/5 (約 6mm) 以下と規定されている。この値を越える供試体が 6 体 (1%) 存在し、そのうち 1 体は 10mm を越える値であった。

曲がりに関しては、上記仕様書の判定規準は「著しい曲がり」という定性的な表現であるが、本調査結果(図-12)において、これを 3° 以上とすると 31 体 (5.4%)、 4° 以上とすると 8 体 (1.4%) が不合格となる。特に、曲がりの大きい圧接部は「片ぶくらみ」形状である場合が多い。端面突き合わせ時の隙間、偏心、曲がり、および「片ぶくらみ」について施工管理が不十分な現場が存在するといえる。

(5) つば形

図-9 および図-10 はふくらみ径、ふくらみ幅をそれぞれ単独に整理したものであり、それぞれ妥当な分布を示していることが分かった。ここで、ふくらみ径 D' とふくらみ幅 W の比 (D'/W) を圧接部の形状のなだらかさを示す指標、いわゆる「つば形」の指標として考えることができる(図-13)。図-14 はこの値の頻度分布を示したもので、引張試験等の圧接面破断数も併記した。ここでつば形を

$$D'/W \geq 1.6 \quad \dots(1)$$

と定義すると、「圧接面破断の確率は、つば形と健全な形状の圧接部とにおいて有意な差はない」とする仮説を 99.5% 以上の信頼性で棄却できることが分かった。これ

までつば形に対する明確な定義はなく、またその機能上の欠点も明確ではなかった。本調査から、つば形を式(1)で定義すれば、圧接部の破断性状と結びついた合理的な判定基準になり得ると考えられる。

(6)外観形状と最大エコー高さおよび引張り強さの関係

外観形状と圧接部の引張り強さの間には相関関係は見られなかった。また、外観形状と最大エコー高さの間にも相関関係は認められなかった。今回の調査によって次の2点が明らかになった。

①外観形状の不良は必ずしも引張り強さの低下、また一定量以上の最大エコー高さの存在に結びつかない。

②規格値以下の引張り強さ、すなわち一定量以上の最大エコー高さを示す圧接部は必ずしも外観形状が不良とは限らない。

したがって、外観形状が不良である圧接部の集合と最大エコー高さが一定量以上の圧接部の集合は、一部が重複した独立の集合である。いうまでもなく、外観形状は施工の良否を判断する重要な指標である。外観検査と超音波探傷検査とは、独立して行なわれるべきである。

§ 5. まとめ

既報(その2)において、筆者らは超音波探傷法による圧接部の品質評価方法を提案したが、本報告においてその根拠となっている最大エコー高さと圧接部の引張り強さの相関関係は、現場の圧接部についても成立するか否かについて論じた。

全国の建築・土木の現場の圧接部に超音波探傷法を適用し、その一部を切り取って最大エコー高さと引張り強さのデータを収集・検討した。その結果、現場の圧接部

に関する最大エコー高さと引張り強さの相関関係は、既報(その2)における実験結果や、既報(その3)における理論的な検討結果とよく一致した。また、実験や理論によって予測された領域からはずれた若干の圧接部について、その原因を推定した。また、この調査を通して以下の知見を得た。

(1)現場の圧接部の超音波探傷法での不良率(4.2で定義)は、ほとんどの現場で1%未満であるが、8%にも達する現場もあり、現場によるばらつきが大きい。

(2)施工前の端面突き合わせ時の隙間、偏心および曲がりについては無管理状態であると考えられる現場が存在する。

(3)外観形状が不良である圧接部の集合と最大エコー高さが一定量以上である圧接部の集合は、一部が重複したそれぞれの独立の集合である。

今後の課題は、第一に既報(その3)において理論的に予測した最大エコー高さと引張り強さの関係をはずれる現場の圧接部の発生原因について考察したことの再現実験と、そのような圧接部が存在することに対する現場での品質管理上の対策の提案、第二に本報での超音波探傷法の適用結果、外観形状の観察結果および上記の再現実験結果を考察した総合的な品質管理手法の提案である。これらについては今後報告する予定である。

謝辞 本研究の実施に当たり絶大なご協力を頂いた日本道路公団御子柴光春氏、小川篤生氏、首都高速道路公団加藤正晴博士に深甚なる謝意を表します。

また、本研究をまとめるに当たり、懇切なご教示を頂いた東京工業大学精密工学研究所教授奥島良博博士、同工業材料研究所教授黒正清治博士に深い感謝の意を表します。調査の実施に当たっては、故安孫子淳三氏のご協力を得ました。感謝いたします。

〈参考文献〉

- 1) 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)
- 2) 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)
- 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3)―引張り強さとエコー高さの相関に関する考察―” 清水建設研究報告 第42号(1985年10月)
- 4) T. Fujimori, T. Saito & H. Matsuyama: "Special Purpose Flaw Detector and the Ultrasonic Examination of Gas Pressure Welds of Reinforcing Bars" 9th World Conference on NDT, 3B-10 (1979)
- 5) 財団法人圧接協会技術委員会資料：“鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法におけるエコー高さのばらつき”(1981年)
- 6) 財団法人圧接協会：“鉄筋のガス圧接工事標準仕様書”(1978年)