

## 建築鉄骨現場溶接部の品質保証に関する研究（その2）

—欠陥発生特性を考慮した抜取検査手法—

中辻照幸  
倉持貢  
藤盛紀明

### § 1. まえがき

前報<sup>1)</sup>では、溶接部の品質を信頼性<sup>注)</sup>で評価する方法を提示し、溶接部の信頼性に及ぼす非破壊試験の欠陥検出能力の影響について検討した。さらに、要求される信頼性を確保して溶接部の品質を保証するためには、欠陥の補修基準はどうあるべきかということについて検討した。

本報では、溶接部の信頼性を確保するうえで重要な要因となる抜取検査方法について検討する。これは、建築鉄骨溶接部に対して非破壊検査を行なう場合、不静定次数の低い個所や構造的に重要な個所を除き、通常抜取検査が採用されるからである。

建築鉄骨現場溶接部を抜取検査する場合、溶接終了後スラブの鉄筋組立およびスラブのコンクリート打ちなどの次工程が検査工程と接近しているため、1検査ロット（通常は1箇毎の溶接部を1検査ロットに設定する）の検査終了後にその合否を判定して、ロット不合格の場合は全数検査に移行するような抜取検査方法の採用は一般に困難である。したがって、工程に余裕のない現場溶接部の抜取検査方法としては、ベルトコンベア方式などによって連続的に生産される製品に対する抜取検査方法として考案された計数連続生産型抜取検査<sup>2)3)</sup>、あるいはこれに類した方法がよいと考えられる。これは、計数連続生産型抜取検査ではロットを構成せず、溶接の終了した継手を順次抜取検査し合否の判定をしていくので、ロット不合格による全数検査への移行がなく、いわゆる検査の手戻りがないためである。

本報では計数連続生産型抜取検査を鉄骨現場溶接部の検査に採用する場合の適用方法について検討を行なう。

注) 本研究では、鉄骨溶接部の危険率( $F$ )を、「継手性能確保の観点から許容される最大欠陥寸法(許容限界欠陥寸法)を超える欠陥を含む継手が一つの建築物の全継手の中に存在する確率」と定義し、溶接部の信頼性( $R$ )を  $R=1-F$  と定義する<sup>1)</sup>。

さらに、文献<sup>4)</sup>で示したように、鉄骨溶接部には欠陥の発生する確率の高い個所が存在し、かつ溶接施工工程中に欠陥発生率が変動して、欠陥が集中的に発生する時期がある等の点に着目した合理的な抜取方式について検討する。なお、本報の信頼性の具体的な数値計算例には、特にことわらない限り、前報<sup>1)</sup>で示したDビルの欠陥実長さの推定頻度分布を用いる。

### § 2. 抽取率と信頼性

ある抜取率( $\bar{p}_s$ )で検査された溶接部の信頼性( $\bar{R}$ )は、前報<sup>1)</sup>式(7)から次のように示される。

$$\bar{R} = 1 - \int_{a_{cr}}^{\infty} p(a) \left[ 1 - \bar{p}_s \cdot D(a) \int_{A_{cr}}^{\infty} f(A/a) dA \right] da \quad \dots \dots (1)$$

ただし、  
 $p(a)$ : 欠陥実長さの頻度分布<sup>1)</sup>  
 $D(a)$ : 非破壊試験の欠陥検出確率<sup>5)</sup>  
 $f(A/a)$ : 欠陥長さの測定精度<sup>5)</sup>  
 $a_{cr}$ : 許容限界欠陥長さ<sup>1)</sup>  
 $A_{cr}$ : 補修限界欠陥長さ(補修限界基準)<sup>1)</sup>

式(1)を変形すると、

$$\bar{R} = 1 - \int_{a_{cr}}^{\infty} p(a) da + \bar{p}_s \int_{a_{cr}}^{\infty} p(a) \cdot D(a) \cdot \left\{ \int_{A_{cr}}^{\infty} f(A/a) dA \right\} da \quad \dots \dots (2)$$

ここで、

$$\bar{R}_t = 1 - \int_{a_{cr}}^{\infty} p(a) da = \int_0^{a_{cr}} p(a) da \quad \dots \dots (3)$$

$$K = \int_{a_{cr}}^{\infty} p(a) \cdot D(a) \cdot \left\{ \int_{A_{cr}}^{\infty} f(A/a) dA \right\} da \quad \dots \dots (4)$$

とおけば式(2)は、

$$\bar{R} = \bar{R}_t + K \bar{p}_s \quad \dots \dots (5)$$

と表わされ、信頼性( $\bar{R}$ )と抜取率( $\bar{p}_s$ )は線形関係にあるのが分かる。ここで、 $\bar{R}_t$ は検査を全く行なわない場合の信頼性で、 $K$ は  $\bar{R}-\bar{p}_s$  関係の直線の勾配を示す。 $K$ は、欠陥実長さの頻度分布( $p(a)$ )、非破壊試験の欠

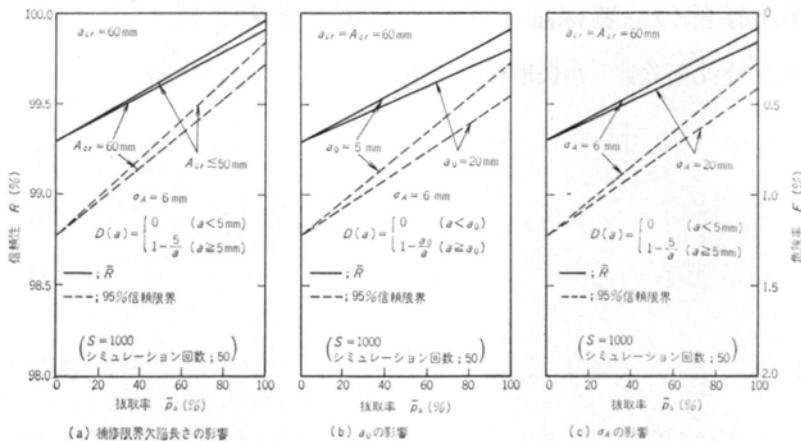


図-1 信頼性と抜取率の関係に及ぼす検査条件の影響

陥検出能力 ( $a_0, \sigma_A^{(5)}$ ) の関数), 補修限界基準 ( $A_{cr}$ ) に依存する量である。図-1 に示すように,  $A_{cr}$  や  $a_0, \sigma_A$  の値が小さくなると  $K$  の値は大きくなる。

また, 欠陥実長さの頻度分布 ( $p(a)$ ) や非破壊検査方法 ( $a_0, \sigma_A, A_{cr}$ ) が一定の時, 信頼性 ( $\bar{R}$ ) は抜取率 ( $\bar{p}_i$ ) によって一義的に決まるので, 抽取率のみを指定するいわゆるパーセント抜取検査では  $p(a)$  が変化した場合  $\bar{R}$  も変化し, 一定の信頼性を確保する立場からは意味がない。したがって, 欠陥が多く発生すれば抜取率を高く, 欠陥が少ない場合は抜取率を低くするように, 欠陥実長さの頻度分布 ( $p(a)$ ) の変化に応じて抜取率を変化させて, 溶接部の信頼性を一定に保つような抜取検査方法が合理的であるのが分かる。

### § 3. 現場溶接部の抜取検査方法

#### 3.1 合否判定基準と補修限界基準

通常の検査では, 合否判定基準 ( $A_j$ ) と補修限界基準 ( $A_{cr}$ ) は同一のものとしてあつかわれているが, 本研究ではこれらは図-2 に示すように異なるものと考える。図-3 は, IIW 第 V 委員会が提案<sup>6)</sup>した品質レベルの概念図であるが, 本研究では  $Q_A$  レベルに相当するのが合否判定基準レベルであり,  $Q_B$  レベルに相当するのが補修限界基準レベルであるとする。すなわち,  $Q_A$  レベルより大きな欠陥 ( $A > A_j$ ) を検査で発見すれば不合格と判断し警告の意味で抜取率を増加させるが,  $Q_B$  レベル以下の大きさの欠陥 ( $A_j < A \leq A_{cr}$ ) は補修せずにそのままにしておき,  $Q_B$  レベルより大きな欠陥 ( $A > A_{cr}$ ) のみを補修するということである。したがって, この場合合否判定基準は抜取率に影響を及ぼし, 補修限界基準

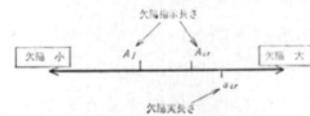


図-2  $a_{cr}, A_{cr}, A_j$  の関係

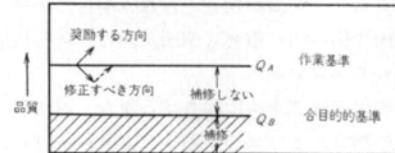


図-3 品質レベルの概念図

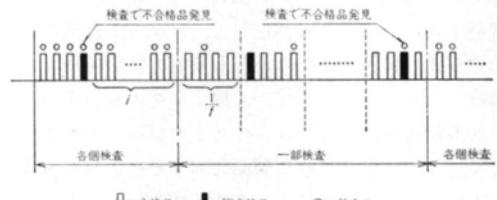


図-4 計数連続生産型抜取検査の概念図  
は補修率に影響を及ぼすことになる。

合否判定基準は図-2 に示すように補修限界基準より小さく設定する必要があるが, 建築鉄骨溶接部の場合, 例えば日本建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説<sup>7)</sup>」などの基準値を採用すればよいと考えられる。

#### 3.2 計数連続生産型抜取検査

JIS Z 9008 に規定されている計数連続生産型抜取検査は, 前述したようにロットの概念がなく, そのためロット不合格による全数検査への移行といふいわゆる検査の

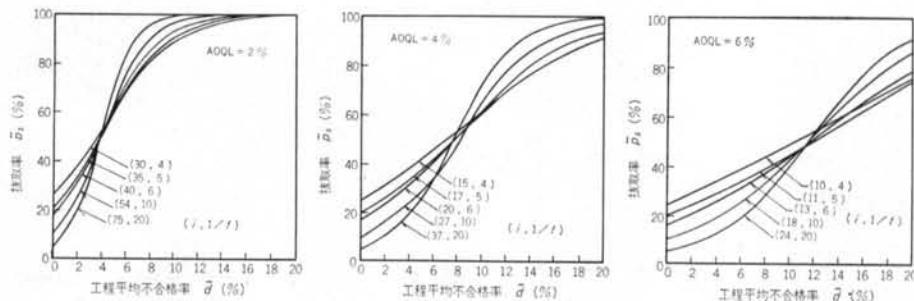


図-5 抜取率と工程平均不合格率の関係の例

$AOQL$	2%	3%	4%	5%	6%
$1/f$	23	15	11	9	7
3	30	20	15	12	10
4	35	23	17	14	11
5	40	27	20	16	13
8	48	32	24	19	15
10	54	36	27	21	18
15	66	44	33	26	21
20	75	50	37	29	24

表-1  $i$  を求める表

手戻りがないので、工程に余裕のない現場溶接部の検査に適している。

計数連続生産型抜取検査は、連続して合格品が  $i$  個続くまで行なう全数検査である「各個検査」と、その後に  $1/f$  個に 1 個の割合で抜取って検査を行なう「一部検査」で構成されている（図-4 参照）。この場合、「各個検査」、「一部検査」のいずれの段階においても不合格品が発見された時点で「各個検査」の最初の状態にもどり、検査を続行する。

連続良品数 ( $i$ ) と区切りの大きさ ( $1/f$ ) の組合せは、JIS Z 9008 でも定められているが、特に建築鉄骨溶接部の検査に適用可能であると考えられる  $i$  と  $1/f$  の組合せを式(6)～式(8)から求めた結果を表-1 に示す。表-1 では、AOQL (平均出検品質限界) で整理して表示した。

$$\bar{p}_s = \frac{1}{1 + (1/f - 1)(1 - \bar{d})^i} \quad \dots \dots (6)$$

$$AOQ = \bar{d}(1 - \bar{p}_s) \quad \dots \dots (7)$$

$$1/f = 1 + \left\{ \frac{i \times (AOQL)}{i(1 - AOQL)} \right\}^{1+i} \quad \dots \dots (8)$$

ただし、

AOQ: 平均出検品質 (Average outgoing quality)

$i$ : 各個検査における連続良品数

$1/f$ : 一部検査における区切りの大きさ

$\bar{p}_s$ : 抜取率

$\bar{d}$ : 工程平均不合格率

この AOQL は、工程平均不合格率 ( $\bar{d}$ ) に対する AOQ (平均出検品質) の最大値を意味する。AOQ は、合否判定基準 ( $A_J$ ) と補修限界基準 ( $A_{cr}$ ) を同一とした場合の検査後の溶接継手の平均不合格率のことであるが、本研究では前項で述べたように、 $A_J$  と  $A_{cr}$  は必ずしも同一とは考えていない。いまの場合 AOQ, AOQL に本来の意味はない。しかし、抜取検査の特性、特に抜取率 ( $\bar{p}_s$ ) と工程平均不合格率 ( $\bar{d}$ ) の関係は AOQL によって大きく影響されるので、ここでは抜取方法の組合せ ( $i$ ,  $1/f$ ) を AOQL で整理して表示した。

抜取率 ( $\bar{p}_s$ ) と工程平均不合格率 ( $\bar{d}$ ) の関係の例を図-5 に示す。 $\bar{d}$  の変化の割合に対する  $\bar{p}_s$  の変化の割合は、AOQL の小さい場合および  $1/f$  の大きい場合の方が大きい。したがって、欠陥発生率が高いために不合格率が増加した場合に、抜取率を自動的に顕著に増加させ溶接部の信頼性を確保できるような抜取検査をするには、AOQL をある程度小さく、 $1/f$  をある程度大きく設定する必要があることが分かる。しかし、 $1/f$  を大きく設定しすぎれば抜取の間隔が大きくなりすぎるので、溶接部の信頼性のばらつきは大きくなるものと予想される。

図-6～図-8 は、種々の抜取方式による検査後の溶接部の信頼性のばらつきを、モンテカルロ法によるシミュレーションによって求めた例である。図には、抜取率 ( $\bar{p}_s$ )、危険率 ( $\bar{F} = 1 - \bar{R}$ ) の理論値とシミュレーションの平均値、および危険率の95%信頼限界幅を示す。この場合、全溶接継手数 ( $S$ ) は 1000 個とし、シミュレーション回数は 50 回とした。なお、許容限界欠陥長さ ( $a_{cr}$ ) は前報<sup>11</sup>と同様 60mm を採用し、補修限界基準 ( $A_{cr}$ ) は 50mm とした。合否判定基準 ( $A_J$ ) には、日本建築学会規準<sup>12</sup>の合否判定基準程度（実際は板厚等によって異なる）の値として 30mm を用いた。

図-6～図-8 から、AOQL の小さい方が全般的に

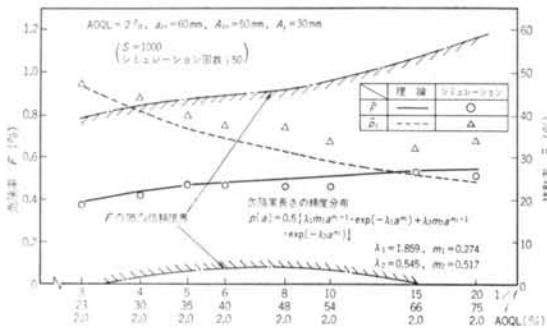


図-6 溶接部の信頼性のばらつきに関するシミュレーション結果(AOQL=2%)

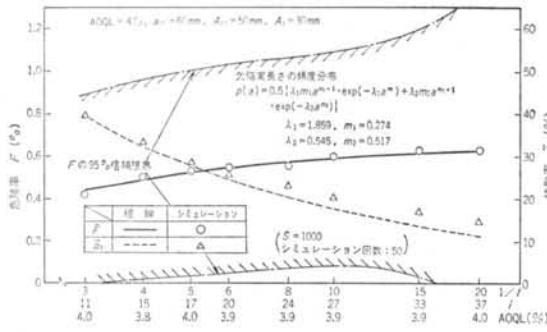


図-7 溶接部の信頼性のばらつきに関するシミュレーション結果(AOQL=4%)

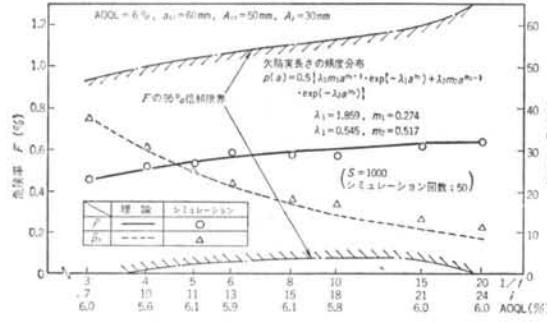


図-8 溶接部の信頼性のばらつきに関するシミュレーション結果(AOQL=6%)

危険率のばらつきはやや小さく、また $1/f$ が10~15より大きくなると溶接部の危険率のばらつきが大きくなるのが分かる。したがって、計数連続生産型抜取検査を建築鉄骨現場溶接部の検査に適用する場合、 $1/f$ が10以下の抜取方式を採用した方がよいと考えられる。

なお、図-6~図-8においてシミュレーションによる平均抜取率が理論値より大きくなるのは、溶接継手数が有限個のため検査が各個検査中に終了する場合もあるためである。そして、その傾向はAOQLが一定の場合

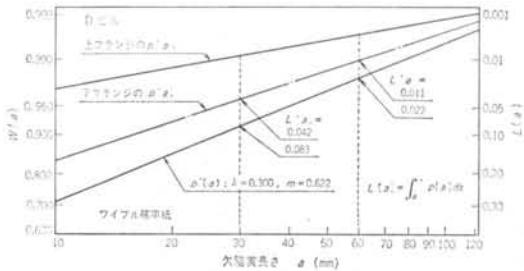


図-9 シミュレーションに用いた欠陥実長さの頻度分布  
区切りの大きさ( $1/f$ )が大きいほど、すなわち連続良品数( $i$ )が大きいほど大である。

#### § 4. 抜取検査における追従性の検討

前節では、計数連続生産型抜取検査方法に関して、溶接施工工程中均等に欠陥が発生する場合について検討した。しかし、実際の鉄骨工事においては、文献4)で示したように溶接欠陥の発生率は溶接施工工程中均一ではなく変動する。しかも、現状の調査範囲内では欠陥の発生する確率の高い時期、および低い時期の予測は正確にできない。したがって、欠陥発生率の変動に応じて抜取率が自動的に短かい時間内に敏感に変動するような抜取方式が建築鉄骨現場溶接部に対する抜取検査方法として合理的である。この欠陥発生率の変動に対する抜取率の変動を表す因子を、本研究では抜取率の追従性と定義する。この追従性と抜取方式の関係を検討するに際して、前節と同様モンテカルロ法によるシミュレーションを用いる。

シミュレーションを行なうに際し、全溶接継手数( $S$ )を3000個とし、500継手間隔毎の交互に欠陥を多く発生させたり、少なく発生させたりした。欠陥を少なく発生させた区間の欠陥実長さの頻度分布としては、前報図-3<sup>1)</sup>に示したDビルの柱・はり接合部上フランジ溶接部の欠陥実長さの推定頻度分布を用いた。

$$p(a) = \lambda ma^{m-1} \cdot \exp(-\lambda a^m) \quad \dots(9)$$

$$(\lambda = 1.859, m = 0.274)$$

欠陥を多く発生させた区間の欠陥実長さ頻度分布としては、Dビルの下フランジ溶接部の欠陥実長さの推定頻度分布を参考にして、その分布に比べて30mm以上と60mm以上の欠陥発生率が約2倍となるような欠陥実長さの頻度分布を用いた(図-9の $p'(a)$ 参照)。

$$p'(a) = \lambda ma^{m-1} \cdot \exp(-\lambda a^m) \quad \dots(10)$$

$$(\lambda = 0.300, m = 0.622)$$

このような欠陥実長さの頻度分布を用いた場合、合否

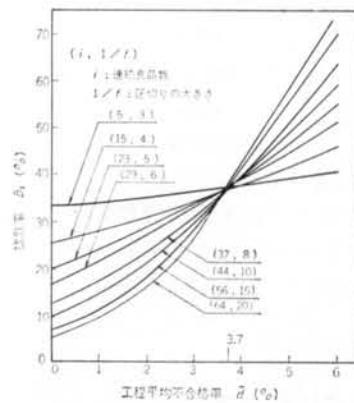


図-10 抜取検査方式と抜取率

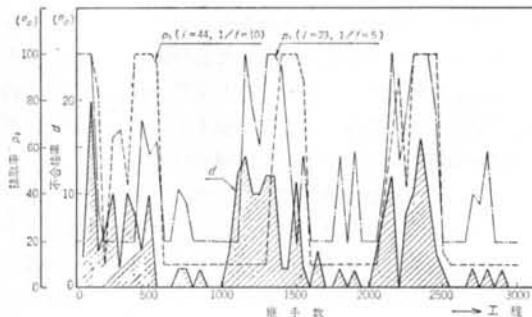


図-11 追從性に関するシミュレーション結果の例

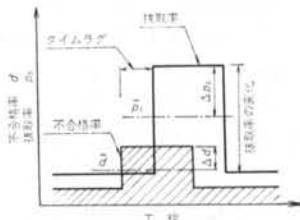


図-12 溶接の施工工程中の不合格率の変化に対する抜取率の変化

判定基準( $A_f$ )を30mmとすれば全工程に対する平均不合格率は約3.7%となるので、抜取因子である( $i, 1/f$ )の組合せを図-10に示すように $\bar{d}$ が3.7%で、 $\bar{p}_s$ が約37%とほぼ一定となるように決定した。この場合、危険率の期待値( $\bar{F}$ )は約0.8%となる。

図-11にシミュレートした結果の例を示すが、抜取方式によって不合格率(50継手区間)の変動に対する抜取率(50継手区間)の変動の様子、すなわち追從性に差があるのが分かる。図-11において、( $i=44, 1/f=10$ )の抜取方式は( $i=23, 1/f=5$ )の抜取方式に比べ不合格率( $d$ )の変動に対する抜取率( $p_s$ )の変動は大きいが、 $d$ の増加に対する $p_s$ の増加の立上がりにタイムラグが生じ

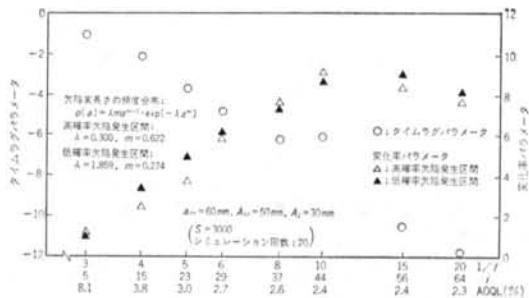


図-13 タイムラグパラメータと変化率パラメータ

ている。このような不合格率と抜取率の関係を図-12に模式的に示す。ここで、抜取率の追從性を表わす指標としてタイムラグパラメータと変化率パラメータを以下のように定義し、各シミュレーションごとの値を式(11)、式(12)を用いて算出することとする。

タイムラグパラメータは、50継手区間ごとの、不合格率( $d$ )と抜取率( $p_s$ )のそれぞれの平均値からの差 $\Delta d$ 、 $\Delta p_s$ の積が負になる場合(すなわち、タイムラグが生じている場合)のみその積を加え合せ、それぞれの平均値 $\bar{d}, \bar{p}_s$ で無次元化したもので表示する(式(11)参照)。したがって、タイムラグパラメータの絶対値の小さい方がタイムラグの小さな抜取方法で、合理的である。

また、変化率パラメータは、欠陥の高確率、低確率発生区間に、タイムラグを考慮して各500継手区間内の151~500番目の50継手ごとの不合格率( $d$ )と抜取率( $p_s$ )についてそれぞれの平均値からの差( $\Delta d, \Delta p_s$ )を求め、その比の平均値で表示する(式(12)参照)。したがって、変化率パラメータの大きい方が抜取率の変動の大きい抜取方法で、合理的である。

$$\text{タイムラグパラメータ} = \sum \{ (\Delta d \cdot \Delta p_s) / (\bar{d} \cdot \bar{p}_s) \} \quad \dots (11)$$

$(\Delta d \cdot \Delta p_s < 0 \text{ の場合のみ})$

$$\text{変化率パラメータ} = \{ (\bar{p}_s - \bar{p}_s) / (\bar{d} - \bar{d}) \} = (\Delta p_s / \Delta d) \quad \dots (12)$$

ただし、

$d$ : 小検査区間の不合格率(ここでは50継手区間)

$\bar{d}$ : 全区間の平均不合格率

$p_s$ : 小検査区間の抜取率(ここでは50継手区間)

$\bar{p}_s$ : 全区間の平均抜取率

図-10に示した種々の抜取方式について、タイムラグパラメータと変化率パラメータをシミュレーションで求めた結果を図-13に示す。データは、シミュレーション20回の平均値で示した。図-13から、 $1/f$ が大きいほど(AOQLが小さいほど)不合格率の変動に対する抜取率の変動は大きくなるが、タイムラグも生じているのが分かる。したがって、適当な範囲の $1/f$ を選択する必要のある

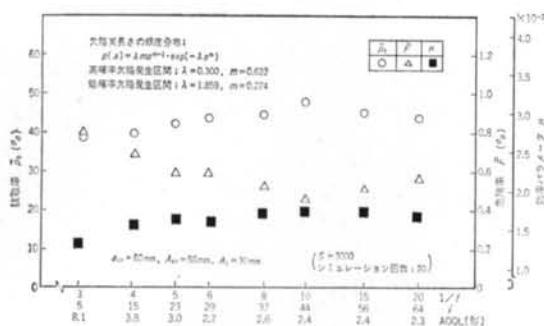


図-14 効率パラメータ

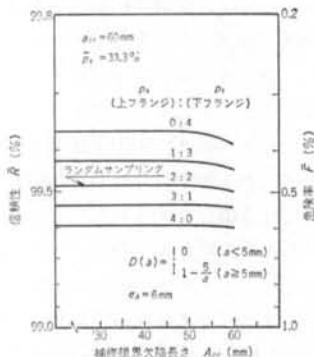


図-15 重点抜取検査と信頼性

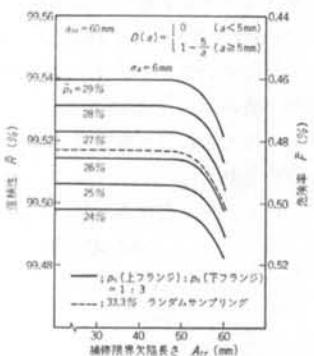


図-16 重点抜取検査の平均抜取率と信頼性

あることが分かる。しかし、図-13からでは、合理的な  $1/f$  の範囲を決定することはできない。ここで、1 非破壊試験当たり溶接部の信頼性に寄与している程度を表わす効率パラメータ ( $\mu$ ) を次式のように定義する。

$$\mu = (\bar{R} - \bar{R}_t) / \bar{p}_s \quad \dots \dots \text{(13)}$$

ただし、

$\bar{R}$ : 検査後の溶接部の信頼性

$\bar{R}_t$ : 検査を行わない場合の溶接部の信頼性

図-14は、抜取率 ( $p_s$ )、危険率 ( $F$ )、効率パラメータ ( $\mu$ )について、シミュレーション20回の平均値を示した

ものである。図-14から、シミュレーションに供した程度の条件の範囲内では、 $1/f$  が 5 以上、AOQL が 3 % 程度あるいはそれ以下であれば効率のよい抜取検査方法であるといえる。ただし、前節でも述べたように  $1/f$  を 10 より大きくすると、溶接部の信頼性のばらつきが大きくなるので注意を要する。

以上の結果から、計数連続生産型抜取検査の抜取方式を決定する場合、 $1/f$  は 5~10程度、AOQL を 3 % 程度あるいはそれ以下とすればよいと考えられる。

## § 5. 重点抜取検査

文献4)で示したように、柱・はり接合部におけるはりの下フランジ溶接部の欠陥発生率は高く、上フランジの場合に比べて欠陥発生率に有意な差が認められる。このように、欠陥発生率が高くなると予想される個所が最初から分かっているならば、その個所を重点的に高い比率で抜取検査することによって、同じ抜取率のランダムサンプリングの場合より溶接部の信頼性を全体的に向上させることができると考えられる。このような抜取検査手法を、本研究では「重点抜取検査」と名づける。本節では重点抜取検査について検討する。なお、ここでは上・下フランジを別々の検査対象として取り上げ、解析には前報<sup>1)</sup>Dビルの欠陥実長さの推定頻度分布を用いる。

図-15は、平均抜取率を 33.3 % と同一に設定し、上・下フランジの抜取比率を変化させた場合の信頼性と補修限界欠陥長さ（補修限界基準）の関係を示したものである。また、図-16は欠陥が高確率に発生するはりの下フランジの溶接部を、上フランジ溶接部の 3 倍多く抜取って検査した場合の平均抜取率と信頼性の関係を示したものである。これらの図から、欠陥が発生する確率の高い個所を重点的に抜取る比率を増加させることによって信頼性が向上し、逆に同一信頼性を確保するには重点抜取検査によってランダムサンプリングの場合より平均抜取率を小さくすることができる。図-16の例では、33.3 % の抜取率でランダムサンプリングする場合を考えると、欠陥が発生する確率の高い個所を低確率個所の 3 倍多く抜取って検査すれば、平均抜取率が約 7 % 少ない 26~27 % の平均抜取率で同じ信頼性が確保できるのが分かる。

このように、欠陥が発生する確率の高い個所を重点的に抜取ることによって、同じ平均抜取率のランダムサンプリングの場合より信頼性が向上するのは、図-17に示すようにランダムサンプリングの場合より補修率が高く

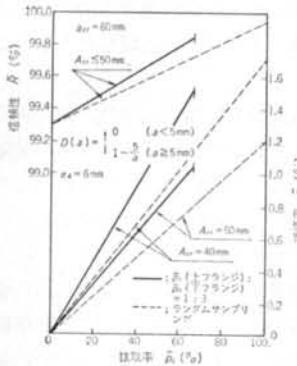


図-17 重点抜取検査の信頼性と補修率

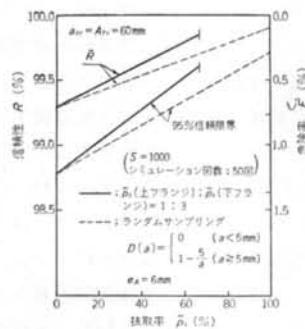


図-18 重点抜取検査のシミュレーション結果

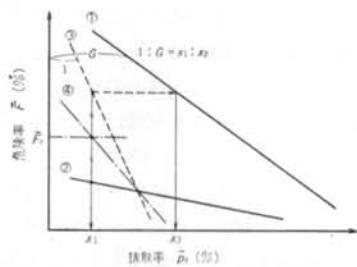


図-19 要求信頼性が与えられた場合の重点抜取検査における抜取率の決め方

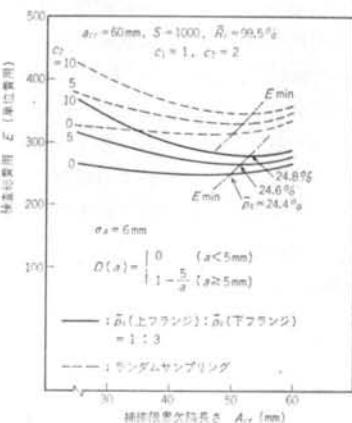
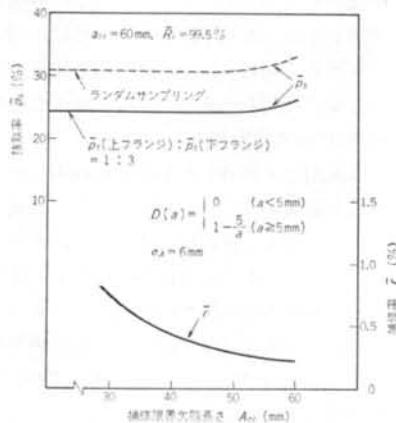


図-20 重点抜取検査とランダムサンプリングによる検査の検査費用比較 ( $\bar{R}_r = 99.5\%$ )

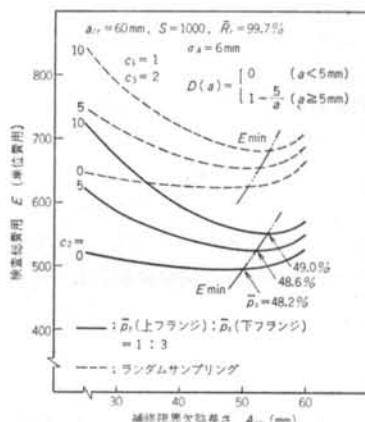
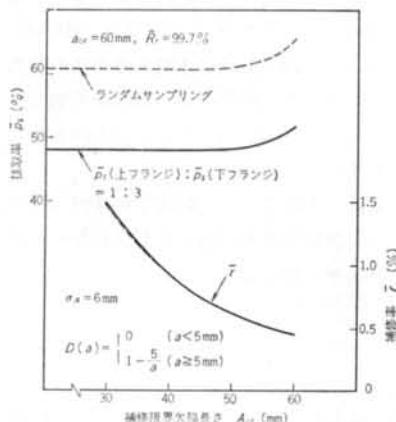


図-21 重点抜取検査とランダムサンプリングによる検査の検査費用比較 ( $\bar{R}_r = 99.7\%$ )

なり、寸法の大きな欠陥を補修する確率が高くなるためである。

図-18は、重点抜取検査とランダムサンプリングによる抜取検査に関し、平均抜取率を変化させた場合の信頼性についてシミュレートした結果を示したものである。

図から分かるように、重点抜取検査の方がランダムサンプリングの場合に比べて、同じ平均抜取率では信頼性は高く、そのばらつきは小さい。

要求信頼性( $\bar{R}_r$ )あるいは許容最大危険率( $\bar{F}_r$ )が与えられ重点抜取検査を行なう場合、以下の手順で欠陥が発

生する確率の高い個所と低い個所の抜取率を決定することができる(図-19参照)。

(1)欠陥が発生する確率の高い個所と低い個所の欠陥実長さの推定頻度分布を用いて、溶接部の平均危険率と抜取率の関係を求める(直線①, ②)。

(2)欠陥が発生する確率の高い個所の抜取倍率( $G$ )だけ直線①の横軸(抜取率)を縮める(直線③)。

(3)直線②, ③の中線④を求め、直線④と許容最大危険率( $\bar{F}_r$ )との交点を求める( $x_1$ 点)。

この抜取率が欠陥の発生する確率の低い個所の抜取率であり、 $x_1$ の $G$ 倍の抜取率( $x_2$ 点)が欠陥の発生する確率の高い個所の抜取率である。

図-20, 図-21は、以上の方法で要求信頼性( $\bar{R}_r$ )が与えられた場合の重点抜取検査の平均抜取率を決定した例である。また、その場合の検査総費用( $E$ )を前報<sup>1)</sup>と同様の方法で求めた結果を示す。この例では、欠陥が発生する確率の高い個所を低い個所より3倍多く抜取検査することによって、ランダムサンプリングの場合に比べて検査総費用をそれぞれの費用の最小値で約20%減少させることができる。また、検査総費用が最小になる補修限界欠陥長さ( $A_{cr}$ )は、ランダムサンプリングの場合とほぼ一致する。

## § 6. 結論

建築鉄骨現場溶接部の欠陥発生特性を考慮した合理的な抜取検査方法について検討した結果、以下の知見を得た。

(1)実際の構造物では、構造物ごとに溶接部の欠陥発生率が異なると考えられるので、抜取率を一定に指定するような抜取検査では構造物の欠陥発生率に応じて溶接部の信頼性が変わる。したがって、個々の構造物毎に溶接部の信頼性をある一定水準に確保するには、欠陥発生率に応じて抜取率が変化するような抜取検査方法を採用すべきである。

(2)工程のきびしい現場溶接部の抜取検査方法としては計数連続生産型抜取検査、またはこれに類した方法がよいと考えられる。

(3)計数連続生産型抜取検査を採用する場合、検査後の溶接部の信頼性のばらつきおよび溶接施工工程中の欠陥発生率の変動を考慮すれば、一部検査における区切りの大きさ( $1/f$ )は5~10程度、AOQLは3%程度あるいはそれ以下がよいと考えられる。

(4)欠陥実長さの頻度分布が一定の場合、溶接部の信頼性と検査の抜取率は比例関係にあり、溶接部に高い信頼性を確保するには抜取率を高くしなければならない。しかしながら、欠陥発生率が高くなると予想される個所が最初から分かっているならば、その個所を重点的に他の個所より高い比率で抜取検査すれば、同一平均抜取率のランダムサンプリングによる抜取検査の場合より溶接部の信頼性は向上する。このような抜取検査手法を、本研究では「重点抜取検査」と称した。

(5)本論文で計算した条件の範囲内では、同一の要求信頼性を確保するのに、欠陥が発生する確率の高い個所を他より3倍多く抜取検査することによって、ランダムサンプリングによる抜取検査の場合より検査総費用をそれぞれの費用の最小値で約20%減少させることができる。また、重点抜取検査において検査総費用が最小となる補修限界欠陥長さは、ランダムサンプリングによる抜取検査の場合とほぼ同一である。

以上から、現場溶接部の信頼性をある一定水準に確保する観点に立って抜取検査を実施する場合、一部検査の区切りの大きさが5~10程度、AOQLが3%程度あるいはそれ以下の計数連続生産型抜取検査を用い、もし欠陥の発生する確率の高い個所が予測できる場合はそこを重点的に高い比率で抜取検査する手法の適用を提案する。

謝辞 本研究は、大阪大学佐藤邦彦教授ならびに豊田政男助教授との共同研究として行なわれたものである。末筆ながら謝意を表する。

## ＜参考文献＞

- 1) 中辻、倉持、藤盛：“建築鉄骨現場溶接部の品質保証に関する研究(その1)” 清水建設研究所報 第36号(昭和57年10月)
- 2) “JIS Z 9008: 計数連続生産型抜取検査(不良個数の場合)”(1957年)
- 3) H. F. Dodge: “A Sampling Plan for Continuous Production” Annals of Mathematical Statistics, Vol. 14
- 4) 中辻、藤盛、倉持：“建築鉄骨現場溶接部の欠陥発生状況の調査研究” 日本建築学会論文報告集 第314号(昭和57年4月)
- 5) 中辻、倉持、藤盛、小早川：“超音波探傷試験の信頼性” 清水建設研究所報 第34号(昭和56年4月)
- 6) J. D. Harrison: “British Work on the Significance of Weld Defects” 「溶接欠陥の評価と維手強度」に関するシンポジウム、東京(1972年11月)
- 7) 日本建築学会：“鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説”(1979年)