

超音波探傷試験の信頼性

中 辻 照 幸
倉 持 貢
藤 盛 紀 明
小早川 恵 実

§ 1. まえがき

検査された溶接部の安全性・信頼性を論じる場合、その構造物に許容される限界の欠陥寸法を明らかにする¹⁾と同時に、試験の信頼性を明らかにする必要がある。なぜなら、試験によって得られる欠陥の情報は欠陥の実像ではなく、非破壊検査というフィルターを通して得られた欠陥の像であって、欠陥の実像を推定するには試験で得ることのできる情報を確率論を用いて検討しなければならないからである。

試験の信頼性は、①欠陥検出(発見)確率と②発見された欠陥の寸法測定精度に分類できる。非破壊検査の信頼性については Buchanan²⁾, O'Brien³⁾, Packman⁴⁾, Herr⁵⁾などの調査があるが、本報では建築鉄骨溶接部を対象に、パルス反射式・直接接合・Aスコープ表示・1探触子の超音波手動斜角探傷法の信頼性について調査した結果を述べる。

欠陥寸法測定精度については、建築鉄骨で欠陥の評価に用いられている欠陥指示長さを対象に、室内実験と現場実験を行なった結果を述べる。

欠陥検出率については、3つの超高層建築鉄骨の現場溶接部を対象に調査した結果を述べる。

§ 2. 欠陥長さ測定精度

ここでは、欠陥長さ測定精度に与える要因として、検査員、探傷装置、欠陥の種類、欠陥長さ測定方法を主要因としてとりあげ、繰返しによるばらつきも1要因とした。

2.1 実験計画

実験は、表一1に示すように3シリーズ行なった。シリーズN, Mは室内実験で、シリーズFは現場実験である。室内実験には、実験後に試験片を機械で切断し実際

の欠陥長さ(実欠陥長さ)を測定することができるという利点があり、現場実験には室内実験では再現できない環境という要因が考慮できる利点がある。

シリーズNでは、通常の溶接部に発生する3種類の欠陥(溶込み不良(IP), 溶接割れ(WC), スラグ巻込み(SI))を対象に、検査員、探傷装置、測定の繰返し、欠陥長さ測定方法を実験の要因とした。

シリーズM(実験内容によって、シリーズM-A, M-Bに分類した)は、検査員として初心者、熟練者および現場常駐者、非常駐者を対象に実験を行なったもので、本実験の結果から、NDI 202小委員会勧告⁶⁾が出されている。

シリーズFは、超高層建築鉄骨の柱・梁接合部を対象に実験を行なったもので、探傷作業階は11階、季節は夏であった。実験の要因は、表一1に示したように検査員(探傷装置を含む)、測定の繰返し、欠陥長さ測定方法である。

シリーズ名	室内実験			現場実験
	シリーズN	シリーズM-A	シリーズM-B	シリーズF
実験の要因(水準数)	検査員(6) 探傷装置(2) 繰返し(5) 欠陥(5) 欠陥長さ測定方法(3)	検査員(5) (初心者) 欠陥長さ測定方法(2)	検査員(10) (熟練者) 欠陥長さ測定方法(2)	検査員(6) (含探傷装置) 繰返し(3) 欠陥長さ測定方法(3)
欠陥(数量)	溶込み不良(6) 溶接割れ(6) スラグ巻込み(4)	溶込み不良(5)	溶接割れ(5)	溶込み不良と推定される欠陥(10)
実欠陥長さ	実測	不明	不明	不明
備考	—	日本非破壊検査協会202小委員会勧告 ⁶⁾ が出される前の実験	—	超高層建築鉄骨での実験(11階、夏)

表一1 欠陥長さ測定精度に関する実験のシリーズ

シリーズ	シリーズ N	シリーズ M-A	シリーズ M-B	シリーズ F
材 質	S M50 A	S M50 A	S M50 A	S M50 A
試 験 片 形状・寸法				柱・梁溶接接合部 溶接長; 400mm 板 厚; 25mm
検 査 員	NDI有資格者 6名	初心者 35名(6グループ)	熟 練 者 10名	NDI有資格者 6名
探 傷 機	クラウトクレーマー-U S M 2 三菱電機 FD210P	東京計器 SM80D	三菱電機 FD210P	探 傷 機 6台
探 触 子	5 Z 10×10 A 70	5 Z 10×10 A 70	5 Z 10×10 A 70	5 Z 10×10 A 70
接 触 媒 質	100%グリセリン	100%グリセリン	マシオイル	100%グリセリン
欠 陥 長 さ 測 定 方 法	J I S (L線カット法) 10dBドロップ法 建築学会法	J I S (L線カット法) 10dBドロップ法	J I S (L線カット法) 10dBドロップ法	J I S (L線カット法) 10dBドロップ法 建築学会法

* J I S Z 3060

表-2 実験条件

実験を行なった順序は、シリーズM, N, Fの順である。したがって、シリーズN, Fは上記勧告⁶⁾を基に実験を行なっている。

試験片の形状、欠陥の位置および探傷条件を表-2に示す。

欠陥長さの測定方法は、JIS Z 3060で規定されているL線以上のエコー高さの範囲を欠陥指示長さとするL線カット法、および最大エコー高さの1/3を超えるエコーの範囲を欠陥指示長さとする10dBドロップ法を原則として採用した。日本建築学会規準⁷⁾による欠陥長さ測定方法(以下、建築学会法という)は、上記の両方法を取り入れたもので、最大エコー高さがJIS Z 3060のH線を超える欠陥については10dBドロップ法で、H線以下の場合にはL線カット法で欠陥長さを測定する方法である。

実験方法は表-3に示す。なお、シリーズM-Aについては繰返し測定を行なっていないので、データ処理に際しては検査員グループ(5~6名で構成)ごとのデータをひとまとまりとした。

2.2 実験結果

2.2.1 実欠陥長ささと欠陥指示長さ

図-1に欠陥指示長さの頻度分布の例(シリーズN)を示す。

図-2に、シリーズNの実欠陥長ささと欠陥指示長さの関係を示すが、欠陥指示長さのばらつきは実欠陥長さに

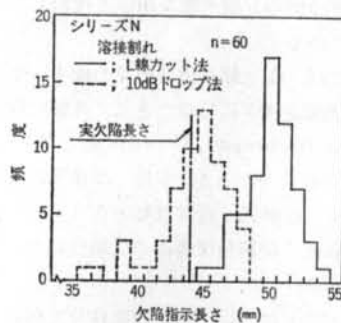


図-1 欠陥指示長さの頻度分布の例

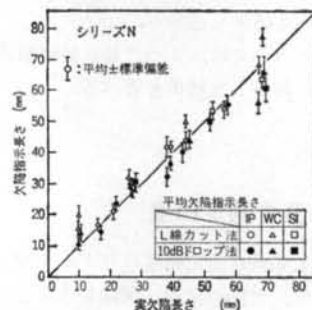


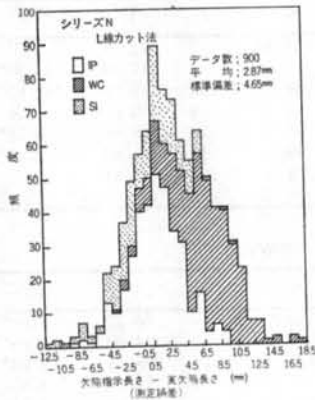
図-2 実欠陥長ささと欠陥指示長さの関係
依存しない。

また、図-3, 4, 5に、それぞれシリーズNのL線カット法、10dBドロップ法、建築学会法による欠陥指示長ささと実欠陥長さの差(測定誤差)の頻度分布を示す。

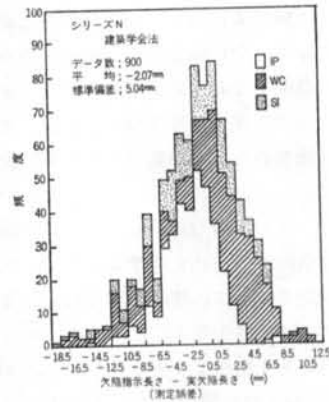
L線カット法で欠陥長さを測定した場合、シリーズN

シリーズ N	シリーズM-A	シリーズM-B	シリーズ F
各検査員は全ての欠陥を2台の探傷装置で1日1回ずつの割合で探傷する。そして2~3日の間隔をあけて、これを5回繰返す。したがって、1欠陥、1欠陥長さ測定方法につき60個のデータを得る。	各グループは、5~6人の検査員で構成され6グループある。各グループは2~4個の欠陥を繰返しながら測定する。	各検査員は、1日に全ての欠陥を測定する。各検査員はそれを6回繰返す。したがって、1欠陥、1欠陥長さ測定方法につき60個のデータを得る。	各検査員は、それぞれの探傷装置を用いて全ての欠陥を1日1回の割合で探傷する。そして、それを3日で3回繰返す。したがって、1欠陥、1欠陥長さ測定方法につき18個のデータを得る。

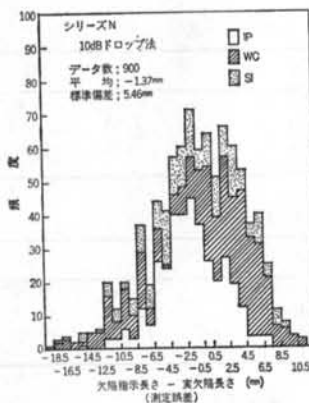
表一 3 実験手法



図一 3 実欠陥長さに対する測定誤差の頻度分布 (L線カット法)



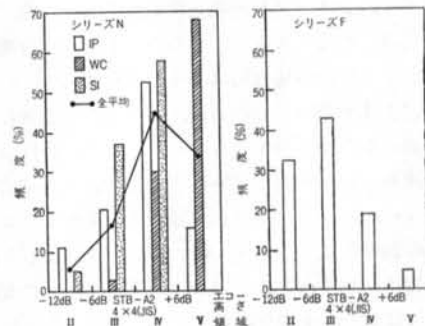
図一 5 実欠陥長さに対する測定誤差の頻度分布 (建築学会法)



図一 4 実欠陥長さに対する測定誤差の頻度分布 (10dBドロップ法)

の実験に供した欠陥の最大エコー高さは図一 6 に示すように全般的に高く、そのため筆者の 1 人⁸⁾ がすでに指摘しているように実欠陥長さよりやや長め(平均で 2.9 mm)に評価している。しかし、比較的エコー高さの低いスラグ巻込みの測定誤差の平均値は -0.7 mm と小さい。また、L線カット法による測定誤差のばらつきは、標準偏差で 4~5 mm 程度である。

10 dB ドロップ法で欠陥長さを測定した場合、図一 4



図一 6 欠陥の最大エコー分布

に示したように実欠陥長さよりやや短かめ(平均で 1.4 mm)に評価している。また、測定値のばらつきはL線カット法に比べてやや大きく、標準偏差で 5~6 mm 程度である。これは、L線カット法の測定手順が機械的であるのに対し、10 dB ドロップ法では検査員によって最大エコーの値が異なるため、ばらつきが大きくなったものと推定される。

建築学会法の場合、図一 5 に示したように実欠陥長さよりやや短かめ(平均で 2.1 mm)に測定している。これは、実験に供した欠陥の最大エコーが図一 6 に示したように全般的に高く、したがって 10 dB ドロップ法で測定した値を多く用いているからである。しかし、建築鉄骨

の現場溶接部を探傷した場合、図-6のシリーズFの例からも分かるように最大エコー高さが低い欠陥が多く、したがってL線カット法で欠陥長さを測定する機会が多くなり、前述のスラグ巻込みの例のように測定誤差のかたよりの小さい測定結果が得られるものと推定される。なお、測定誤差のばらつきは標準偏差で5mm程度である。

2.2.2 各要因が測定精度に与える影響

各要因が欠陥長さ測定精度に与える影響を調べるためシリーズNの実験結果について分散分析した結果を、表-4(a)~(c)に示す。分析結果から、欠陥、検査員、探傷装置に1%の危険率で有意差が認められる。また、寄与率から判断すれば、測定精度に与える影響は欠陥が最も大きく、次に検査員で、探傷装置の寄与率は検査員の約1/3程度である。

図-7は、シリーズM-B、Nについて、個々の検査員による測定値のばらつきを標準偏差で示したものである。図から分かるように、常時現場で検査に従事している検査員のばらつきは小さく、標準偏差で示せば最大6mm程度、平均2~3mm程度である。しかし、NDI 202小委員会勧告⁹⁾の出される前のシリーズM-Bの実験では、図-8に示したように測定値のかたよりの差が最大10mm程度あり、シリーズNの場合の最大2.5mm(図-9参照)に比べてかなり大きい。このことから、常時現場で検査に従事している検査員は、それぞれ個人ごとに欠陥長さ測定方法を確立しているが、その確立の仕方によって測定値にかたよりが生じる。したがって、商取引においては検査を行なう前に欠陥長さ測定方法を詳細に決めておかなければならない。しかし、そのようにしても、検査員の個性によって2~3mmのかたよりが生じる。

図-10は、シリーズN、M-Aに関して個々の欠陥の測定値のばらつきを標準偏差で示したものである。シリーズNの場合は、1欠陥を全検査員が繰返し測定した60個のデータの標準偏差を、シリーズM-Aの場合は1欠陥を初心者グループ5~6名が測定した5~6個のデータの標準偏差を示したものである。図-10から、①欠陥によってばらつきが異なる、②L線カット法で測定値のばらつきが大きい欠陥は、10dBドロップ法でも大きい、③初心者(シリーズM-A)ではL線カットと10dBドロップ法による測定値のばらつきは大きい、④熟練者(シリーズN)ではそれほど大きくない、等が分かる。

2.2.3 現場探傷における欠陥長さ測定精度

シリーズFの場合の欠陥長さ測定精度に与える要因について分散分析した結果を、表-4(d)~(f)に示す。この

(a)シリーズN (L線カット法)

	S	f	V	F ₀	ρ
I	592.90	5	118.58	23.81**	2.90
M	165.55	1	165.55	33.24**	0.82
T	13939.08	14	995.65	199.93**	70.86
R	32.56	4	8.14	1.63	0.06
I×T	758.49	70	10.84	2.17**	2.10
M×T	148.98	14	10.64	2.14**	0.50
e	3936.15	791	4.98	—	22.90
Total	19573.70	899	—	—	—

(b)シリーズN (10dBドロップ法)

	S	f	V	F ₀	ρ
I	364.86	5	72.97	9.31**	1.33
M	117.36	1	117.36	14.97**	0.45
T	15589.18	14	1113.51	142.02**	63.10
R	42.59	4	10.65	1.36	0.05
I×T	1966.22	70	28.09	3.58**	5.78
M×T	249.66	14	17.83	2.27**	0.57
e	6201.91	791	7.84	—	28.73
Total	24531.78	899	—	—	—

(c)シリーズN (建築学会法)

	S	f	V	F ₀	ρ
I	290.83	5	58.17	7.50**	1.12
M	144.00	1	144.00	18.59**	0.60
T	13839.76	14	988.55	127.64**	60.83
R	47.86	4	11.97	1.55	0.08
I×T	1847.57	70	26.39	3.41**	5.88
M×T	283.40	14	20.24	2.26**	0.79
e	6125.95	791	7.44	—	30.70
Total	22579.37	899	—	—	—

(d)シリーズF (L線カット法)

	S	f	V	F ₀	ρ
I	235.52	5	47.10	6.42**	7.05
R	14.09	2	7.04	1.04	0
e	2571.75	352	7.31	—	92.97
Total	2821.36	359	—	—	—

(e)シリーズF (10dBドロップ法)

	S	f	V	F ₀	ρ
I	468.42	5	93.68	9.07**	10.05
R	45.05	2	22.52	2.18	0.59
e	3633.76	352	10.32	—	89.36
Total	4147.23	359	—	—	—

(f)シリーズF (建築学会法)

	S	f	V	F ₀	ρ
I	234.55	5	46.91	6.23**	6.78
R	20.50	2	10.25	1.36	0.19
e	2648.68	352	7.52	—	93.03
Total	2903.73	359	—	—	—

[要因] I: 検査員 [記号] S: 変動
M: 探傷装置 f: 自由度
T: 欠陥 V: 分散
R: 繰返し F₀: 分散比
e: 誤差 ρ: 寄与率

表-4 分散分析表

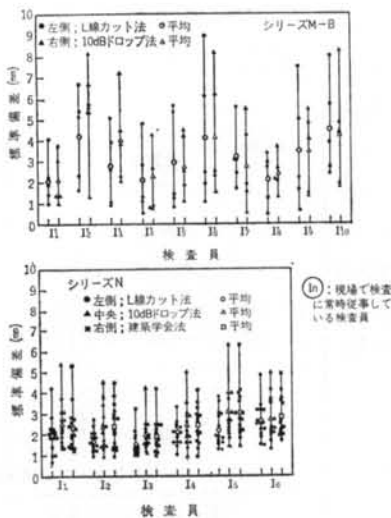


図-7 検査員による測定値のばらつき

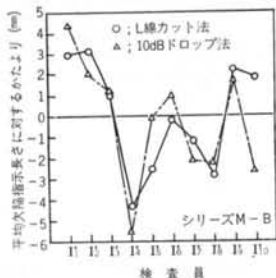


図-8 検査員による測定値のかたより (シリーズM-B)

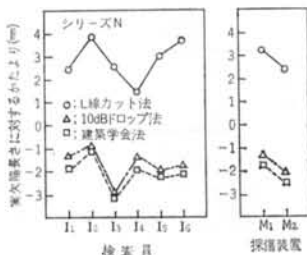


図-9 検査員と探傷装置による測定値のかたより (シリーズN)

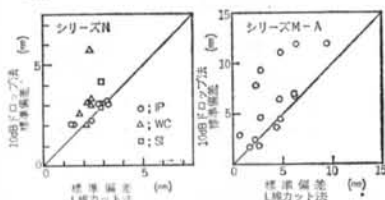


図-10 個々の欠陥に対する測定値のばらつき
場合もシリーズNと同様、検査員に1%の危険率で有意差がある。検査員による測定値のかたよりを、全欠陥の平均値からのかたよりとして示したのが図-11である。

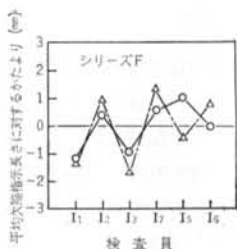


図-11 検査員による測定値のかたより (シリーズN)

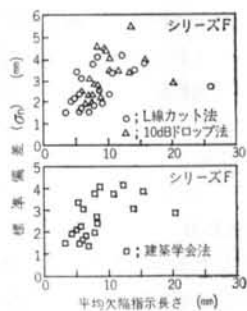


図-12 平均欠陥指示長さとはらつき (シリーズN)

検査員によるかたよりの差は最大3mm程度で、室内実験のシリーズNの場合とほぼ同一である。

図-12は、平均欠陥指示長さとはらつき(標準偏差)の関係を個々の欠陥について示したものであるが、欠陥長さが長くなっても、ばらつきは大きくなるわけではなく、またばらつきの程度はシリーズN(図-10参照)の場合とほぼ同一である。

以上から、今回実験を行なった程度の環境下では、すなわち建築鉄骨溶接部の探傷では、室内実験と大差のない欠陥長さ測定精度が得られることが分かる。

§ 3. 欠陥検出率

3.1 調査方法

建築現場での調査は、環境という要因が考慮できるという利点がある反面、溶接部に存在する全ての欠陥量が分からないということである。しかし、検査の目的は溶接継手の強度に影響を与える欠陥を発見し、それらを排除することである。建築鉄骨現場溶接部に多く発生し、かつ継手の静的強度に影響を与える欠陥は、L型開先のルート部に発生する溶込み不良、融合不良等の面状欠陥である。これらの欠陥は、慎重に探傷を行ないさえすれば、超音波探傷試験で100%近く発見できるものと考えられる。したがって、本研究では同一継手に自動探傷と手動探傷を適用し、それぞれで発見した欠陥の和集合を100%の欠陥量と仮定し、手動探傷による欠陥検出率を求めることとした。超音波探傷条件を表-5に示す。

3.2 自動探傷^①による欠陥寸法測定精度

図-13は、シリーズNの実験で使用した欠陥を、表-5の探傷条件で自動探傷した結果である。手動探傷(図-5参照)の場合と比較すれば、測定誤差の標準偏差は0.8mm程度自動探傷の方が大きいだけで、大きな差はない。自動探傷の方がばらつきがやや大きいのは、手動探傷の場合1mm単位で欠陥長さを測定するのに対し、自動探傷の場合は探触子の走査間隔が5mmのために、欠陥指示長さが5mm単位で示されるからであると考えられる。

以上の結果から、自動探傷と手動探傷の欠陥長さ測定精度はほぼ同一で、ばらつきは標準偏差で6mm程度であり、かたよりはないものとして、以下考察を進める。

3.3 欠陥検出率の求め方

本研究では、前述したように各々の欠陥指示長さについて、自動探傷と手動探傷で発見された欠陥の和集合を100%と仮定し、そのうち手動探傷によって発見された欠陥の集合の占める割合を、手動探傷による欠陥検出率とする。この関係を模式的に示したのが図-14である。また、自動探傷と手動探傷の欠陥長さ測定精度は前述したようにほぼ同一であるので、実欠陥長さ a mmの欠陥を A mmと測定する確率は、自動探傷と手動探傷でほぼ同一である。したがって、図-14の積集合に自動探傷による結果を用いても、手動探傷による結果を用いても大差のない結果が得られるものと推定される。

以上の方法で求めた手動探傷による欠陥検出率は、欠陥指示長さに対するものであって、実欠陥長さに対するものではない。そこで、以下の方法によって実欠陥長さに対する欠陥検出率に変換する。

多くの溶接継手を探傷した場合、欠陥指示長さの発生確率密度関数 $p_a(A)$ は、実欠陥発生確率密度関数 $p(a)$ を用いて式(1)のように示される(図-15)。

$$p_a(A) = \int_0^{\infty} D(a) \cdot f(A|a) \cdot p(a) da \quad \dots\dots(1)$$

ここに、

a : 実欠陥長さ

A : 欠陥指示長さ

$D(a)$: 実欠陥長さに対する欠陥検出率

$f(A|a)$: a の欠陥を A と測定する確率密度

欠陥指示長さに対する欠陥検出率 $D'(A)$ は、 $D(a)=1$ の場合の $p'_a(A)$ に対する $p_a(A)$ の比で表らわされるので、式(1)を用いれば式(2)のように示される(図-15)。

$$D'(A) = \frac{\int_0^{\infty} D(a) \cdot f(A|a) \cdot p(a) da}{\int_0^{\infty} 1 \cdot f(A|a) \cdot p(a) da} \quad \dots\dots(2)$$

構造物	Aビル	Bビル	Cビル	
手動	探傷器	FD 210	FD 410 S SM 80 D	SM 80
	探触子	5 Z 10×10A70		
	探傷者	1名経験4年	2名 経験5~10年	1名経験7年
	標準試験片	STB-A1, A2		
	使用規格	日本建築学会規準 1976年版		
自動	探傷器	WURTS (東京計器)		
	探触子	5 Z 10×10A70		
	走査間隔	5mm		
	探傷感度	STB-A2 φ4×4mmを印字5に調整し+2dBとした		
	接触媒質	グリセリン50%水溶液		
探傷	探傷方法	柱・梁接合部: 両面片側から直射および1回反射 柱・柱接合部: 片面両側から直射および1回反射		
	検出レベル	M検出レベル		
	欠陥長さ測定法	日本建築学会規準 1979年版		
	探傷方法	柱・梁接合部: 片面片側から直射および1回反射 柱・柱接合部: 片面両側から直射および1回反射		
	検出レベル	M検出レベル		
探傷数	柱・梁接合部	136	788	—
	柱・柱接合部	683	129	279

表-5 手動および自動探傷条件

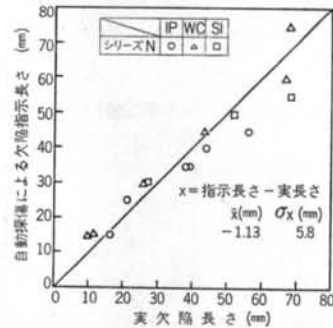


図-13 自動探傷による欠陥長さ測定精度

また一方、条件付確率の定理から、

$$f(a_i|A) = \frac{f(A|a_i) \cdot p(a_i)}{\sum_j f(A|a_j) \cdot p(a_j)} \quad (i=1 \dots n) \quad \dots(3)$$

よって、

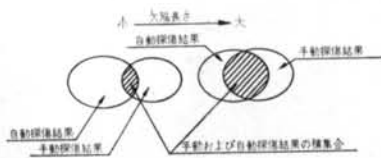


図-14 手動・自動探傷で検出された欠陥の集合の模式図

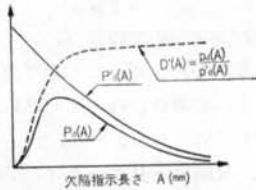


図-15 欠陥指示長さの発生確率密度

$$f(a|A) = \frac{f(A|a) \cdot p(a)}{\int_0^{\infty} f(A|a) \cdot p(a) da} \quad \dots\dots(4)$$

したがって、式(2)は式(4)を用いれば、式(5)のように示される。

$$D'(A) = \int_0^{\infty} D(a) \cdot f(a|A) da \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 $f(a|A)$ はAと測定された欠陥がaである確率密度である。

現場溶接部を建築学会法で探傷した場合、欠陥寸法測定精度 $f(A|a)$ は、前述したようにかたよりの小さい正規分布で近似できると考えられるので、本論文では式(6)で近似する。

$$f(A|a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_A} \exp\left\{-\frac{(A-a)^2}{2\sigma_A^2}\right\} \quad (\sigma_A \div 6\text{mm}) \quad \dots\dots(6)$$

$f(a|A)$ は、 $f(A|a)$ とほぼ等しいと考えられるので、式(7)で示される。

$$f(a|A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \exp\left\{-\frac{(a-A)^2}{2\sigma_a^2}\right\} \quad (\sigma_a \div 6\text{mm}) \quad \dots\dots(7)$$

以上から、 $D'(A)$ の調査結果と $f(a|A)$ を用いて、式(5)に適合するように実欠陥長さに対する欠陥検出率 $D(a)$ を決めればよいことがわかる。

3.4 調査結果

3.4.1 欠陥検出率

図-16~18に、A・BビルおよびCビルにおいて自動探傷と手動探傷で発見された欠陥の頻度分布を示す。A・Bビルのデータをひとまとめにし、Cビルのデータと分けたのは、後述するようにA・Bビルの検査員らとCビルの検査員には欠陥検出率に差があったためである。

図-19, 20は、手動探傷による欠陥検出率を示したものである。これらの図には、検出された欠陥の積集合を

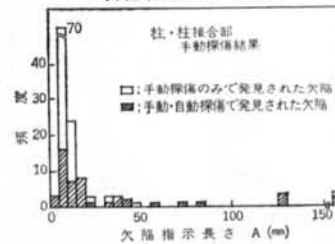
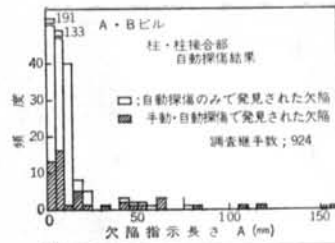


図-16 欠陥指示長さの発生頻度分布

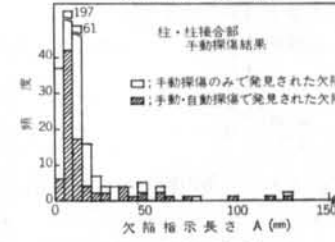
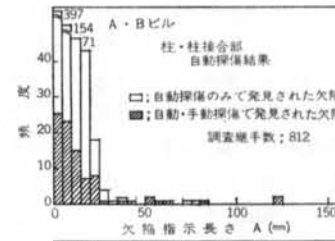


図-17 欠陥指示長さの発生頻度分布

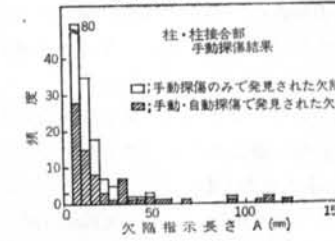
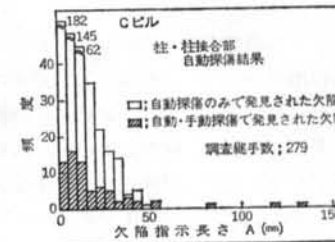


図-18 欠陥指示長さの発生頻度分布

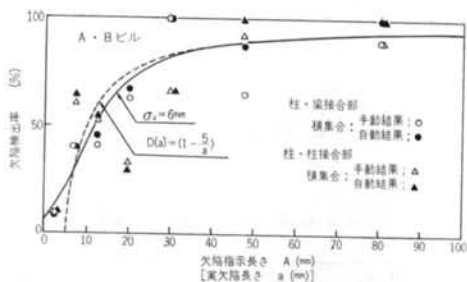


図-19 手動探傷による欠陥検出確率 (A・Bビル)

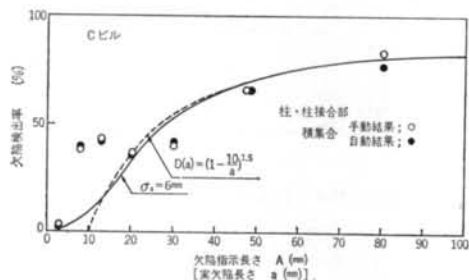


図-20 手動探傷による欠陥検出確率 (Cビル)

手動探傷結果とした場合と、自動探傷結果とした場合について示してあるが、前項で考察したように両者に大きな差はない。また、図中には式(5)を用いて推定した実欠陥長さに対する欠陥検出率を破線で示してある。

調査データは大きなばらつきを有しているが、実欠陥長さに対する欠陥検出率 $D(a)$ は、ほぼ次式で近似できる。

$$D(a) = \left(1 - \frac{a_0}{a}\right)^\gamma \quad (a \geq a_0) \quad \dots\dots(8)$$

式(8)において、A・Bビルの検査員らの場合、 $a_0 \approx 5 \text{ mm}$, $\gamma \approx 1$ (9)

Cビルの検査員の場合、 $a_0 \approx 10 \text{ mm}$, $\gamma \approx 1.5$ (10)

で、検査員によって欠陥検出率に差があり、Cビルの検査員の方が欠陥検出率が低い。これは、①Cビルの検査員は検査速度の早い人であったこと、②Cビルの調査継手は偶然欠陥が多発したため、検査員は心理的にめんどろになり、溶接部の合否判定に関係のない小さな欠陥は記録しなかったのではないかと等々の理由が考えられる。したがって、通常の検査員が通常の鉄骨溶接部を検査した場合、式(9)程度の欠陥検出率となるであろうと考えられる。

また、図-19から柱・梁接合部、柱・柱接合部などの部位によって欠陥検出率に差がないことが分かる。

3.4.2 欠陥検出率の日内変動

図-21は、1日の検査順序によって欠陥検出率がどの

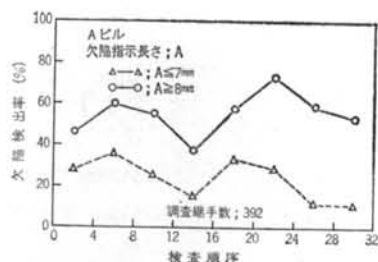


図-21 欠陥検出率の日内変動

ように変化するかを、Aビルについて調査した結果を示したものである。33番目以降のデータは、データ数が少ないという理由で省略した。

図-21から、欠陥指示長さの小さい欠陥も大きい欠陥も、1日の中程と最後に欠陥検出率が低下しているのが分かる。この傾向は作業能率、しいては疲労のあらわれ方¹⁰⁾とよく一致しており、1日の中程で食事休憩の効果が認められる。

これらのことから、検査員の疲労と欠陥検出率に相関性が認められるので、検査員には適度な休憩が必要であることが分かる。

§ 4. 結論

建築鉄骨溶接部の検査に用いられるパルス反射式・直接接合・Aスコープ表示・1探触子の超音波手動斜角探傷法の信頼性について調査した結果、以下のような結論を得た。

1) 測定方法によって異なるが、欠陥長さ測定精度はほぼ正規分布で近似でき、そのばらつきは標準偏差で4~6mm程度、かたよりは-2~+3mm程度である。また、現場溶接部を日本建築学会規準⁷⁾に準じて超音波探傷すれば、欠陥指示長さの測定精度は、かたよりが小さく、ばらつきの標準偏差が6mm程度の正規分布で近似できると考えられる。

2) 通常の検査員が通常の現場溶接部を検査した場合実欠陥長さ a に対する欠陥検出率 $D(a)$ は次式で示される。

$$D(a) = 1 - \frac{5}{a} \quad (a \geq 5)$$

謝辞 本研究を遂行するにあたり、大阪大学 佐藤邦彦教授ならびに豊田政男助教授から有益なご助言をいただいた。また、確率・統計理論の展開には、横浜国大 板垣浩教授、ならびに航空宇宙技術研究所 朝田洋雄氏からご助言をいただいた。末筆ながら謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 中辻, 藤盛他: “建築鉄骨溶接部における溶接欠陥の限界評価に関する研究 (その1), (その2)” 清水建設研究所報 Vol. 31 (昭和54年10月), Vol. 32 (昭和55年4月)
- 2) R. A. Buchanan: “Analysis of the Ultrasonic Examination of PVRC Weld Specimens 155, 202 and 203 by Standard and Two-Point Coincidence” WRC Bulletin No. 256 (1980.1)
- 3) K. R. A. O'Brien, et al.: “Crack Detection Capability of Non-Destructive Inspection Method in Relation to the Airworthiness of Aircraft” ICAF Doc. No. 801
- 4) R. F. Packman: “Status of Non-Destructive Inspection Techniques with Special References to Welding Defects, Significance of Defects in Welded Structures” University of Tokyo Press (1974.9)
- 5) J. C. Herr & G. L. Marsh: “NDT Reliability and Human Factors” Materials Evaluation (1978.12)
- 6) 日本非破壊検査協会202小委員会: “「溶接部の斜角探傷試験における欠陥指示長さの測定方法」に関する202小委員会勧告” 非破壊検査 Vol. 26, No. 11(1977.11)
- 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” (1979.8)
- 8) 藤盛: “鋼溶接部の超音波斜角探傷試験における欠陥寸法の推定方法について” 非破壊検査 Vol. 21, No. 12 (1972.12)
- 9) 倉持, 藤盛: “AGCを有しない超音波自動探傷装置による溶接部の探傷実験” 非破壊検査 Vol. 26, No. 3 (1977.3)
- 10) 例えば, 三浦豊彦: “労働の衛生学” 大修館書店 (1970)

