既存コンクリート系建築物における鉄筋のガス圧接継手の 継手強度の再評価に関する研究[†]

田中 礼治* 大芳賀 義喜**
熊谷 元行** 小澤 昌広**

Revaluation of the Strength of Gas-Pressure Welded Joints Used in the Existing Concrete Structural Buildings

by

Reiji TANAKA*, Yosiki OHAGA**, Motoyuki KUMAGAI**
and Masahiro OZAWA**

The strength of gas-pressure welded joint is evaluated as strong as the strength of the using reinforcement. But, many gas-pressure welded joints were damaged in RC and SRC structural buildings at the 1995 Hyogoken Nanbu Earthquake. After earthquake, we picked up 365 test pieces of gas-pressure welded joints from the damaged RC and SRC structural buildings, and those pieces were tested by the tension test. The 12.6% pieces in all test specimens were fractured. Therefore, the strength of gas-pressure welded joints in the existing concrete structural buildings are not able to apply the present evaluation. This paper is a study on the revaluation of strength of gas-pressure welded joints. The strength of gas-pressure welded joints were revaluated by the research data of Hyogoken Nanbu Earthquake and another test data of 23 public experiment institution in Japan. From the research of this study, we took mainly the following conclusions.

(1) The strength of gas-pressure welded joint used in the existing concrete structural buildings were not evaluated as strong as the strength of the using reinforcement.

(2) We proposed the method of revaluation of the strength for gas-pressure welded joints used in the existing concrete structural buildings.

Key words: Existing concrete structural buildings, Strength of gas-pressure welded joint, 1995 Hyogoken Nanbu Earthquake

1 はじめに

コンクリート系構造物に使用されている鉄筋のガス圧接継手の継手強度は従来、母材とほぼ同等であるとして扱われてきた。

このことについては、筆者等は文献1において全国の公的試験機関(23機関)が依頼されて行った、約95万本という多数本の引張試験の調査結果より、継手破断する継手の比率(以下、継手破断比率)の平均値が0.48%と小さくガス圧接継手の継手性能が安定していること、また、この結果から継手強度は母材とほぼ同等に評価して良いことを確認している。

しかし、兵庫県南部地震では既存コンクリート系建築物で使用されていた鉄筋のガス圧接継手に多数の継手破断の被害が発生した。

そこで地震後、現地の8棟の被害建物から解体時に採取した365本のガス圧接継手試験片について引張試験を行い、継手破断比率について調査を行った。その結果、継手破断比率の平均値は12.6%であった。この値は文献1での継手破断比率の平均値0.48%の約26倍と大きい。

このことは既存コンクリート系建築物で使用されているガス圧接継手の中には相当に高い比率で継手破断するものが混入していることを示していると同時に、既存コンクリート系建築物の耐震診断ならびに耐震改修に当たっては、ガス圧接継手の継手破断の影響を考慮しなければならないことを示唆している。

上述したように、ガス圧接継手の継手強度は従来、母材とほぼ同等であると評価されてきたわけであるが、兵庫県南部地震後の調査結果から考えて、既存建築物で使用されているガス圧接継手の継手強度に、従来の評価をそのまま適用するのは困難である。即ち、継手強度に関しては、継手破断強度の分布を考慮した新たな再評価が必要である。

そこで本報では、具体的に次の3項目について検討したので報告する。

(1) 兵庫県南部地震でのガス圧接継手の被害を外観調査により統計的に確認した。

(2) 被害建物8棟から採取したガス圧接継手試験片の引張試験結果より、ガス圧接継手の継手強度の再評価の

[†] 原稿受理 平成10年11月18日 Received Nov. 18, 1998

* 正会員 東北工業大学工学部建築学科 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町, Dept. of Architecture, Tohoku Inst. of Tech., Taihaku-ku, Sendai, 982-8577

** 東北工業大学工学部建築学科 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町, Dept. of Architecture, Tohoku Inst. of Tech., Taihaku-ku, Sendai, 982-8577

必要性を指摘した。

(3) 兵庫県南部地震での調査データおよび全国の公的試験機関の調査データをもとに、ガス圧接継手の継手強度の再評価を行った。

本報で示したデータは、現在行われている既存コンクリート系建築物の耐震診断、耐震改修において、ガス圧接継手の安全性を評価する基礎データとして十分利用できると考えている。

2 兵庫県南部地震以外のガス圧接継手の被害

兵庫県南部地震ではガス圧接継手に多数の継手破断被害が発生した。過去の地震被害報告書^{2), 3)}の中には、ガス圧接継手の被害についてほとんど述べられていない。そのため、兵庫県南部地震のガス圧接継手の被害が地域的な特異性を保有しているように見える。しかし、筆者等の調査によると兵庫県南部地震以前の宮城県沖地震、三陸はるか沖地震でもガス圧接継手が地震被害を受けていた事例があり、ガス圧接継手の地震被害を受ける機会 は地域的な特異性はなく、全国的であることが分かる。

以下に示す宮城県沖地震、三陸はるか沖地震の場合とも、ガス圧接継手はせん断破壊した柱部材で使用されていたものである。継手に作用した応力がさほど小さくなく継手は健全であった。このような部材中央に設置されたガス圧接継手が部材のせん断破壊後も健全であった事例は兵庫県南部地震でも多数見られた。

2・1 宮城県沖地震での事例

Fig. 1 は宮城県沖地震（1978 年）で見られた事例である。この事例はガス圧接継手が地震後、目視確認された我が国最初のものではないかと考えている。

柱部材はせん断破壊しているが、ガス圧接継手は健全である。鉄筋は丸鋼である。

2・2 三陸はるか沖地震での事例

Fig. 2 は三陸はるか沖地震（1994 年）で見られた事例である。柱部材はせん断破壊しているが、ガス圧接継手は健全である。鉄筋は丸鋼である。

3 兵庫県南部地震におけるガス圧接継手の継手破断被害に関する外観調査

3・1 調査概要および調査結果

調査した建物の全棟数は 60 棟である。調査棟数 60 棟は人的な調査能力によるもので、特に理由のある数値ではない。各建物の調査に当たっては、各建物全体にわたって調査可能な範囲について詳細に調査を行った。調査した建物のうち、ガス圧接継手が露出し、外観からガス圧接継手が確認できた建物は全部で 22 棟あった。22 棟の建物用途の内訳は公共建築物 3 棟、商業ビル 4 棟、集合住宅 15 棟である。

確認できたガス圧接継手の全箇所数は 279 箇所である。その内で継手破断していた箇所数は 31 箇所であった。

被害状況の一例を Fig. 3 に示した。柱主筋の大部分が継手破断している。

ガス圧接継手が確認できた建物 22 棟中、7 棟で破断が確認された。ガス圧接継手の破断が建物被害に大きく影響を及ぼしたと考えられる建物は 1 棟のみであった。そ

Fig. 1. Damage of gas-pressure welded joints.

Fig. 2. Damage of gas-pressure welded joints.

Fig. 3. Many fractured gas-pressure welded joint in longitudinal reinforcements of column.

の建物は Fig. 3 に示してあるように、1 階柱脚の主筋の大半が継手破断しており、継手破断により柱が圧壊し、建物が大破している。継手破断の原因は曲げ応力によるものと考えられる。

その他の継手破断が見られた 6 棟は主に柱のせん断破壊であったため、継手破断がどの程度建物被害に影響を及ぼしたかは明確に出来なかったが、主筋の継手破断が間接的に建物被害に影響を及ぼしたと考えることは決して誤った判断ではないと思われる。

3・2 外観調査のまとめ

外観調査の結果より継手破断に関して次のことが認められた。

(1) 調査建物 60 棟の内、外観からガス圧接継手が確認できた建物は 22 棟あった。その 22 棟中継手破断が 7 棟で見られ、継手破断が見られた建物の比率がかなり高い。

(2) 継手破断が確認された 7 棟の内、継手破断が建物被害に大きく影響を及ぼしたと考えられる建物は 1 棟のみであった。

(3) 外観から確認されたガス圧接継手のみについて単純にガス圧接継手の継手破断比率を求めてみると、 $31/279 = 11.1\%$ となる。

(4) 継手の設置位置が確認できた継手 207 箇所の内、RC 規準の規定内のものが 165 箇所 (80%)、規定外のものが 42 箇所 (20%) と、設置位置については RC 規準が比較的良好に順守されていることが認められた。

(5) 設置位置が RC 規準の規定内の継手では継手破断比率が 5% と小さく、規定外のものの継手破断比率は 30% と大きい。このことから考えると、RC 規準の継手設置位置の規定が今回の地震におけるガス圧接継手破断の被害を軽減することに大きく貢献したものと考えられる。

4 被害建物から採取したガス圧接継手試験片の引張試験調査

4.1 ガス圧接継手試験片および引張試験方法

ガス圧接継手試験片を採取した建物数は 8 棟である。試験片の採取は建物の解体と同時に行った。採取部位は建物の所有者に一任したが、ほとんどが柱部材からの採取であった。試験片の採取は全てガス溶断によったが、溶断位置は継手部に熱影響を及ぼさないように継手位置より 60 cm 以上離すように指示したが、採取試験片は全て指示通りであり、継手への熱影響はほとんどないと考えられる。

Table I にガス圧接継手試験片 (以下、試験片という) を採取した建物および採取した試験片本数を示した。

建物の地震被害ランクはいずれも大破である。採取した試験片本数は全部で 365 本である。

引張試験方法は、JIS Z 3120 (鉄筋コンクリート用棒鋼ガス圧接継手の調査方法) に従って行った。

4.2 引張試験結果

4.2.1 継手強度の再評価の必要性 Table II は、建物毎の継手破断比率を示したものである。継手破断比率とは、試験片本数 (A) で継手破断した試験片数 (B) を除した値である。

Table II より次のことが認められる。

(1) 建物別の継手破断比率は 0 ~ 27.3% の広範囲に分布し、継手破断比率は各建物によって異なるが、全平均は 12.6% と大きい。

(2) Table II の継手破断比率の平均値 12.6% は、文献 1 での継手破断比率の平均値 0.48% の約 26 倍と大きい。このことは既存コンクリート系建築物で使用されているガス圧接継手の中には相当に高い比率で継手破断するものが混入していることを示していると同時に、既存コンクリート系建築物の耐震診断ならびに耐震改修する場合にガス圧接継手の継手破断の影響を考慮しなければならないことを示唆している。

(3) ガス圧接継手の継手強度に関する従来の評価は「NAK 仕様書」の検査の合格規準でもあり、かつ文献 1 でも確認されているように、ほぼ母材と同等であるとして扱われてきたが、Table II の継手破断比率の平均値が 12.6% であることから考えると、既存建築物で使用されているガス圧接継手の継手強度に関しては従来の評価をそのまま適用するのには無理があると考えられる。即ち、既存コンクリート系建築物で使用されているガス圧接継手の継手強度については継手破断強度の分布も考慮し再

Table I. Buildings picked up test specimens and number of specimens of gas-pressure welded joints.

Name of buildings	Location (Name of city)	Construction year	Number of specimens
No.1	KOBE	1967	23
No.2	KOBE	1957	94
No.3	KOBE	1982	22
No.4	ASHIYA	1970	11
No.5	KOBE	1987	94
No.6	KOBE	1971	24
No.7	NISHINOMIYA	1968	31
No.8	KOBE	1985	66
Total			365

Table II. Fracture ratio of joint in each buildings.

Name of buildings	Number of specimens (A)	Number of fractured joints (B)	Fracture ratio of joint (B)/(A)%
No.1	23	1	4.3
No.2	94	1	1.1
No.3	22	0	0.0
No.4	11	3	27.3
No.5	94	19	20.2
No.6	24	3	12.5
No.7	31	6	19.4
No.8	66	13	19.7
Total	365	46	12.6 (Ave.)

Table III. Relationship between building use and fracture ratio of joint.

Building use	Name of buildings	Number of specimens (A)	Number of fractured joints (B)	Fracture ratio of joint (B)/(A)%
Public buildings	No.1	117	2	1.7
	No.2			
Private multiple dwelling houses	No.3	248	44	17.7
	No.4			
	No.5			
	No.6			
	No.7			
	No.8			
Total		365	46	12.6 (Ave.)

評価が必要である。

4.2.2 継手破断強度の検討用データ Table II の建物別の継手破断比率を公共建築物と民間の集合住宅の建物別用途に分類し示したのが Table III である。

Table III から分かるように、公共建築物の継手破断比率の平均値は 1.7% と民間の集合住宅の 17.7% より相当に小さく、建物の用途によって継手破断比率が異なることが分かる。これら継手破断比率の相違の主たる理由としては施工精度ならびに施工管理の良否によるものと思われる。

Table III の集合住宅から採取した試験片の詳細を Table IV に示した。Table III の民間の集合住宅の試験片数が 248 本で Table IV のそれが 206 本になっているのは、Table IV では丸鋼 (42 本) が除かれているためである。鉄筋種別として SD30 と SD35 の 2 種があり、SD30 は試験片本数が 24 本と少ない。そこで、本報では Table IV

Table IV. Fracture ratio of joint picked up from private multiple dwelling houses.

Building use	Classification of reinforcement	Number of specimens (A)	Number of fractured joints (B)	Fracture ratio of joint (B)/(A)%
Private multiple dwelling houses	SD30	24	8	33.3
	SD35	182	32	17.6
	Total	206	40	19.4 (Ave.)

Fig. 4. Distribution of tensile strength of SD35 deformed bars fractured at joint.

の民間の集合住宅のデータから得られた SD35 の継手破断した試験片本数 32 本を継手破断強度の検討用データとして採用した。

継手破断強度の検討用データ (SD35, 32 本) の破断強度分布をダイヤグラムで示したのが Fig. 4 である。この兵庫県南部地震の採用データを以下、兵庫データと呼ぶ。

5 全国の公的試験機関における引張試験調査

5・1 調査の概要

全国の公的試験機関 (23 機関) が 1982 年～1986 年の 5 年間にガス圧接継手の現場の施工管理用の抜取試験片として依頼されて行った約 95 万本の引張試験結果の調査である。調査範囲は鉄筋種別として SD30, SD35 の 2 種、鉄筋径は D16～D32 である。本報でこの調査を採用した主たる理由は、現場での抜取試験片ということで既存建築物でのガス圧接継手と見なせることが考えられるためである。

全国の公的試験機関の分布を Fig. 5 に示した。試験機関は北海道から九州まで全国的に分布している。Table V に試験片の全数を各年度ごとに示した。全調査試験片数は 953424 本である。

Table VI は全試験片の各年度ごとの継手破断比率を示したものである。継手破断したものは、953424 本中 4551 本あった。平均継手破断比率は 0.48% であった。調査試験片を、SD30 と SD35 別に継手破断比率を調べたのが Table VII である。SD35 の比率が SD30 のそれより多少大きい。

Fig. 6 は試験機関別の継手破断比率を示したものである。継手破断比率には多少の地域差は見られるが、継手破断比率が 1.0% を越す試験機関はない。試験機関 No. 17

Fig. 5. Location of Public Experiment Institution.

Table V. Number of an annual specimens.

Year	Number of specimens
1982	118,002
1983	164,317
1984	185,636
1985	212,986
1986	272,483
Total	953,424

Table VI. Number of an annual specimens and fracture ratio of joint.

Year	Number of specimens (A)	Number of fractured joints (B)	Fracture ratio of joint (B)/(A)%
1982	118,002	377	0.32
1983	164,317	806	0.49
1984	185,636	938	0.51
1985	212,986	1,047	0.49
1986	272,483	1,383	0.51
Total	953,424	4,551	0.48 (Ave.)

は神戸市附近の試験機関で、神戸市内で建設される建物の試験片が多数依頼されていると言われる機関であるが、継手破断比率は 0.43% と Table VI の平均値とほぼ同程度の値であり、他の地域と比べて特に継手破断比率が大きい傾向は見られない。このことは、兵庫県南部地震から得られた継手破断のデータは全国の平均値的な実状を示している考えてもさほど大きな誤差を含んでいないことを示していると思われる。

5・2 継手破断強度の検討用データ

本データの中で、継手破断強度の分布性状を検討するのに用いたデータは、Table VI に示した継手破断したデータの内、SD35, D22～D29 の 3220 本のデータ (以下、このデータを全国データという) である。その理由は兵庫県南部地震での兵庫データと比較する意味で、鉄筋種

Table VII. Number of specimens and fracture ratio of joint in each diameter of reinforcement.

Classification of reinforcement	SD30		SD35		Total	
Diameter of reinforcement	Number of specimens	Number of fractured joints	Number of specimens	Number of fractured joints	Number of specimens	Number of fractured joints
D16	4,121	16	616	5	4,737	21
D19	53,793	74	72,118	101	125,911	175
D22	99,666	218	203,076	564	302,742	782
D25	90,382	385	322,150	2,077	412,532	2,462
D29	17,859	122	64,483	579	82,342	701
D32	12,502	211	12,658	199	25,160	410
Total	278,323	1,026	675,101	3,525	953,424	4,551
Average ratio of fractured joint (%)	0.37		0.52		0.48

Fig. 6. Fracture ratio of joints in each Public Experiment Institution.

別 (SD35), 鉄筋径 (D22 ~ D29) を同一範囲にしたためである。

Fig. 7 に全国データの破断強度分布をダイアグラムで示した。Fig. 4 の兵庫県南部地震の兵庫データの分布とよく近似している。

6 ガス圧接継手の継手強度の再評価

6・1 兵庫データと全国データの比較

兵庫データと全国データは近似した性状を示しているが、ここでは両データを比較してみる。比較した両データの詳細を Table VIII に示した。Table VIII の兵庫データで試験片数が 180 本となっているのは、鉄筋径を比較検討のため D22 ~ D29 の範囲にそろえたので Table IV の 182 本から D19 の 2 本を除いたためである。Table IX に両データの継手強度の最小値、最大値、平均値および標準偏差を示した。両データの各値は近似していることが認められる。

Fig. 8 は兵庫データ (32 本) と全国データ (3 220 本) を基準として継手破断比率の度数をダイアグラムで示したものである。両者の分布形状はよく近似していることが分かる。Fig. 9 は兵庫データと全国データの累積破断比率を比較したものであるが、両者の値はよく近似している。

Fig. 8, Fig. 9 から分かるように兵庫データと全国データの両者は比較的良好な類似した性状を示していることが分かる。このことは、ガス圧接継手の継手破断強度を再

Fig. 7. Distribution of tensile strength of Fractured joints on National data.

Table VIII. Comparison between Hyogo data and National data.

Classification of data	Classification of reinforcement	Diameter of reinforcement	Number of specimens (A)	Number of fractured joints (B)	Fracture ratio of joint (B)/(A) %
Hyogo data	SD35	D22~D29	180	32	17.78
National data	SD35	D22~D29	589,709	3,220	0.55

Table IX. Minimum, maximum, average and standard deviation of Hyogo data and National data.

Classification of data	Number of fractured joints	Tensile strength			
		Minimum (N/mm²)	Maximum (N/mm²)	Average (N/mm²)	Standard deviation (N/mm²)
Hyogo data	32	240	564	490	75
National data	3220	38	661	495	101

Fig. 8. Comparison of fracture ratio between Hyogo data and National data.

Fig. 9. Cumulative fracture ratio of joint between Hyogo data and National data.

Table X. Fracture ratio of joint under σ_y and $1.35\sigma_y$ in Hyogo data and National data.

Tensile strength	Fracture ratio of joint (%)	
	Hyogo data	National data
$\sigma_y //$	9.4	9.1
$1.35\sigma_y //$	21.9	23.9

評価する場合、兵庫データだけでなく全国データも十分利用できることを示唆している。

6・2 継手強度の再評価

ここでは兵庫データおよび全国データをもとにガス圧接継手の継手強度の再評価の1例を示す。継手強度を評価する方法として各種考えられるが、ここでは継手破断した継手の中で特定応力以下で継手破断が発生する比率（以下、継手破断発生比率）を用いて評価する手法を示す。特定応力としては、部材の破壊性状として曲げ破壊とせん断破壊の2種を想定し、それぞれの終局時の材端での主筋に生じると考えられる最大応力度を σ_y (JISの規格降伏点 345N/mm^2) と $1.35\sigma_y$ と仮定する。 $1.35\sigma_y$ は機械的継手指針の性能値にあわせたものである。兵庫データと全国データにおける σ_y と $1.35\sigma_y$ での継手破断発生比率は Table X のようになる。両者の継手破断発生比率は非常によく近似している。即ち、調査方法が全く異なる兵庫データと全国データがよく近似した値を示すということは、既存コンクリート系建築物で使用されているガス圧接継手の継手強度と継手破断比率の関係は Table X の継手破断発生比率を考慮して再評価する必要があることを意味している。従来のガス圧接継手の継手強度は母材とほぼ同等と評価されてきたわけであるから、Table X での継手破断発生比率はいずれもゼロとして評価されてきたことになる。Table X は明らかに従来の評価が危険側の評価であることを示している。

7 ま と め

ガス圧接継手の継手強度は従来ほぼ母材と同等であると評価されていたが、兵庫県南部地震ではコンクリート系建築物で使用されていたガス圧接継手に多くの継手破断の被害が発生した。そこで、被災後解体された建物8棟から365本の試験片を採取し引張試験調査を行った結果、その継手破断比率は平均で12.6%と相当に大きな値を示した。

このように大きな継手破断比率を示す継手の継手強度を従来と同様に評価するのは困難であり、新たに継手破断強度の分布について論ずる必要があると考え、本報では既存コンクリート系建築物で使用されているガス圧接

継手に限定して、それらガス圧接継手の継手破断強度の再評価について検討した結果、次のことが認められた。

(1) 外観調査の結果、調査建物60棟の内、外観からガス圧接継手が確認できた建物は22棟あった。その22棟中継手破断が7棟で見られ、継手破断が見られた建物の比率がかなり高い。

外観から確認されたガス圧接継手のみについて単純にガス圧接継手の継手破断比率を求めてみると、 $31/279 = 11.1\%$ となる。

(2) 被害建物8棟から356本の試験片を採取し引張試験を行った結果、建物別の継手破断比率は0～27.3%の広範囲に分布し、継手破断比率は各建物によって異なるが、全平均は12.6%であった。

ガス圧接継手の継手強度に関する従来の評価は、母材とほぼ同等であるとして扱われてきたが、継手破断比率の平均値が12.6%であることから考えると、既存建築物で使用されているガス圧接継手の継手強度に関しては従来の評価をそのまま適用できない。即ち、既存コンクリート系建築物で使用されているガス圧接継手の継手強度については再評価が必要であることが認められた。

(3) 兵庫データおよび全国データを用いて継手破断した継手の中で σ_y および $1.35\sigma_y$ 以下で継手破断が発生する継手破断発生比率を示し、ガス圧接継手の継手強度の再評価の1例を示した。

本調査を行うに当たり関係各位の御協力を賜りました。心より御礼申し上げます。特に、(株)新井組の中沢明夫氏、秦 邦晃氏、神戸市役所の赤松恵一朗氏、小池敬二氏、山本隆史氏、神戸市議会議員の平野章三氏には各調査に当たり大変御世話になり感謝いたします。また、大阪大学工学部建築学科鈴木計夫教授（現在 福井工業大学教授）、大野義照教授には調査データの提供などを頂きました。紙面を借り、厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 田中礼治, 大芳賀義喜, 日本建築学会構造系論文報告集, No.393, p.46 (1988).
- 2) 日本建築学会, “1987年宮城県沖地震災害調査報告” (1980).
- 3) 日本建築学会, “1994年北海道東方沖地震災害調査報告・1994年三陸はるか沖地震災害調査報告” (1996).
- 4) 熊谷元行, 小澤昌広, 田中礼治, 1997年度日本建築学会大会学術講演梗概集, p.471 (1997).
- 5) 田中礼治, 熊谷元行, 小澤昌広, 1997年度日本建築学会大会学術講演梗概集, p.473 (1997).