

鉄 筋 の ガ ス 圧 接 法

正 員 札幌工業株式会社 垣 見 俊 一

本文は、昭和30年3月土木学会北海道支部研究発表会に於て、大略要旨並びに一部講演（ガス圧接法の利点及び構造への影響）したものを取りまとめたものである。

概 要

ガス圧接法による鉄筋の接合強度は、充分信頼性の高いものであることを紹介し、此れにより重ね継手も全廃して、経済上甚だ有利であるばかりでなく、鉄筋コンクリート構造の設計も変り、コンクリート打設の容易さと併せて、極めて有効な方法であることを説明する。

1. 發 達 大 要

金属のガス圧接法については、既に1927年の文献（英国）に見られるが、第二次世界大戦中に急速に発達して、航空機部品の製作に応用された様である。

特に米国に於ては、1940年頃より研究せられ、1945年には大径管を接合して敷設し、又1949年迄にレールが10万箇所も接合使用されたと報告されている。

その他、英・仏・西独に於ても研究されている様であるが、特にソ連に於ては、大型の圧接機により鉄道、交通方面に使用されていると言われる。

日本に於ては、終戦後鉄道技術研究所に於て研究に着手され、1951年には鉄筋、1953年にはレールの接合に成功するまでに至つた。

因に実用化されたのは、鉄筋は1952年（昭和27年）、レールは1954年（昭和29年）であり、極めて新しい技術である。

北海道に於ては、鉄筋は1953年橋梁スラブ鉄筋が最初であり、レールは今年より実用化される。

1. 前 書 金属のガス圧接法が研究されて、其の一番応用し易い鉄筋の、ガス圧接が最近実用化され始めた。今日まで多数の土木、建築工事の鉄筋が、此の方法によつて接合されて、大なる成果を挙げている。

鉄筋の接合には、主として重ね継手が用いられているが、鉄筋径の50倍～60倍（フック共）が損失となるばかりでなく、コンクリート打設の障碍となつてゐることは、周知の通りである。

重ね継手の代りに、電弧溶接や、フラッシュバット溶接を或る制限内で用いてもよいが、電源設備が大であるから、余程大工事現場でない限り、使用困難である。又

此れ等は何れも電気抵抗による発熱で、接合面を溶解したり、異種の金属を添加するので、接合面に弱点を残すことは免れない。

鍛接接合は、火床を要するので、足場上では困難であり、其の最も欠点とする所は、作業中酸化し易いので、酸化物を夾在して欠陥ある接合となる。

又ターンバックルによる螺子込接合は、鉄筋に螺子山を作るので、断面を縮少して不経済である。

然るにガス圧接法によれば電力を要せず、僅か7～8kgの圧接機と、ガス発生器とがあれば、如何なる現場でも、又足場上でも、簡単に施工出来る。而も其の強度は、善良な管理下に於て作業すれば、母材強度と余り変わらない信頼性の高い接合が得られる。

2. 鉄筋のガス圧接法の概要

ガス圧接法とは、鉄筋の接合面に圧力を加えつつ、ガス炎で加熱し、非熔融状態で接合するのである。

圧接には、始めより加圧、加熱するClosed-butt法と、始めは別々に加熱し後に加圧するOpen-butt法とがあるが、我国では利点の多い前者が専ら用いられる。

此の作業を説明すれば、先ず鉄筋の端面をグラインダー等で錆、油、其の他雜物を除去して圧接機に堅固に装着し、平方耗当り2～3kgの圧力を加えながら、ガス炎で接合部を加熱する。ガス炎は、酸素—アセチレン焰を用いるのが普通である。

加熱に当つては、2箇の火口、又は二口火口を以て、常に接合部を焰で包んで酸化防止をする。接合部温度が上昇して、900°～1,000°位（桜色程度）に達すれば、圧力のため圧縮が生ずるが、接合が完全に行われるのは、1,200°～1,300°（半白熱程度）であるから、此れまで速やかに上昇させ圧力を落さない様にして、所定の圧縮が生ずる様作業するのである。

加熱時間は過少でも過大でも、不良接合になり易いので、普通鉄筋16～25mmのもので、1～2分位が最もよいとされている。

3. ガス圧接法による接合の利點及び欠點

ガス圧接法を、電弧溶接、フラッシュバット溶接等と比較すると種々の利点がある。

a. 非溶解溶接であるから、接合部には脱炭層が生じ

ないから、接合部硬度は母材と同様である。此の事は特に高炭素鋼の接合に最も望ましい事である。尚 1,200°~1,300° 程度では、鋼の組織や硬度の変化も極めて少ない。

b. 接合には異種の添加金属を使用しないから接合部の原素配合に変化はない。此の事は他の方法に比較して資材を要せず、又母材強度に略等しい原因の一つである。

c. 接合作業の大部分は機械的であつて、作業員の高度な熟練を必要としないから、常に一樣の接合強度が得られる。換言すれば接合強度の再現性が大である。

d. 圧接作業中の酸化防止が完全である。例え一時酸化してもガス炎により還元されるから、接合面には酸化物、酸化膜等も残ることが殆どない。鍛接に於ては大気中の作業であるから酸化は免れない。

e. 圧接作業に要する装置は極めて簡単であるから、設備費、保守費が低廉であり、其のため如何なる現場でも、又足場上でも作業が出来る。

f. 圧接作業には原理的に全く電力を要しない。然しグラインダー用として 100 V の電源があれば便利である。

g. 作業に要する時間は極めて短かく 普通鉄筋で 1~分程度であるから能率的である。

h. 鉄筋端面の清掃、特に錆の除去を作業前に行わなければならないのが唯一の欠点である。

4. ガス圧接法による作業の諸条件

ガス圧接法による接合部強度は、作業の諸条件即ち

- 接合面仕上げ
 - 加圧力
 - 加熱時間 (火口の選択)
 - 圧縮量 (ふくらみ量)
 - 火口の種類
- 等によつて影響される。

前 4 項は主に機械的操作であり、指導管理を完全にし、一定の基準作業によつて操作すれば母材と略同等の強度が得られることが研究された。

最後の 1 項のみが作業員の熟練に俟つのであるが、此れも甚だしく困難なものでないので、結局多少の熟練と、基準作業によつて操作すれば、常に信頼性の高い接合強度が得られない。

前記 5 項を更に説明すれば次の様である。

A. 接合面仕上げ

接合面の異物、特に錆は接合強度に甚だしい悪影響を及ぼし、発錆初期程度 (薄茶色程度) でも強度は 60~70% に低下し、黒味錆、浮錆等を夾在すると、強度は殆んど期待出来ないの、圧接直前にグラインダー等で入念に清掃し、白銀色の輝く面に仕上げ、雨露に当てない様注意しなければならない。

面仕上げは、軸方向に直角な平面とすることが望まし

いが、現場作業では可成困難であるので、両端面を突合せた場合、多少の間隙や空隙を生ずることは止むを得ないが、間隙は加熱時間を延長し、高熱影響を大にし、特に細筋では喰い違い接合になり易いので、間隙の最大は、3 mm 程度以下に制限する必要がある。

B. 圧縮圧力

加圧法には、圧接材料によつて異なる定圧法 (Constant Pressur method) と、二段圧力法 (Dual Pressur method) とがあるが、高炭素鋼や、鉄筋等に対しては専ら前者が用いられる。

圧縮圧力は実験の結果、1 kg/mm² 以上あれば充分であるが、作業の不良条件、即ち面の不整、加熱の不足等を補つて接合を確実にするため、少しく高い圧力 2~3 kg/mm² を適当としている。

圧接機に堅固に装着し、所定の圧力を加え、次に加熱すると、鋼の変態温度に達すれば圧縮が始り、圧力は 0 となるので、常に圧力を補給 (油圧又はスプリング圧) し、特に心部が高温 (1,200°~1,300° 位) に達した時に、圧力を落さない様作業を行はなければならない。

鉄筋径 (mm)	加圧力概数 (kg)	鉄筋径 (mm)	加圧力概数 (kg)
9	200	25	1,500
13	400	28	1,900
16	600	32	2,400
19	900	36	3,000
22	1,200	38	3,400

C. 加熱時間 (火口の選択)

圧接作業中の接合部温度、特に心部温度は、接合強度に最も影響する。即ち加熱により接合部が変態温度に達すれば、圧縮が生ずるが、接合部の組織が完全に融合して、再結晶の行われるのは、1,200°~1,300° 位であると言われているから、速やかに此の温度に達する様、火口の選択を適切にして、作業をしなければならない。

火口が過少であれば、心部の所要温度に達するに可成り時間を要し、而も温度不足に落入り易い、又火口過大であれば、表面過熱のため融解の虞があるので、之を防止するため加熱時間が短少となり、結局心部の所要温度に達しない等、何れも不良接合となり易い。

多数実験の結果、良好な抗張強度の得られる加熱時間は、普通径の鉄筋 (16φ~25φ) で、1~2 分を頂点として、何れも強度低下を見る傾向がある。

接合面に間隙があれば、先ず酸化密着するまで多少の時間の延長は免れない。

鉄 筋 径 (mm)	火 口 番 数	鉄 筋 径 (mm)	火 口 番 数
9	1	22	5~7
13	2~3	25	5~7
16	3~5	28	7~10
19	5	32	10

D. 圧縮量 (ふくらみ量)

接合部には、加圧、加熱により、圧縮 (Upset) が生じ、其の周辺部には、ふくらみが主成する。

多数の実験の結果接合強度は、圧縮量 2 mm 以上あれば、母材強度以上で略一定の値が得られ、又伸びは 25% 以上の値が得られ、5~6 mm で 30% 以上の最大値が得られる様である。

一般に圧縮量が増大すれば、接合強度が増大するかの如く考えられるが、過大では高温加工の影響が大となる慮いあり、又過少では加熱時間が短少であるから、共に不良接合となり易いので、圧縮量は 6~8 mm が普通である。

周辺部に生成するふくらみは、圧縮に比例して生ずるので、ふくらみ量は圧縮量に代る目安となり、又接合断面積を約 50% 増すので、安全性を著しく増大する。又此のふくらみは鉄筋として使用するに何等差支えない。

鉄 筋 径 mm	9~13	16~19	22~25	28~32
ふくらみ量 mm	1.5	2.0	2.5	3.0

E. 火口の操作

酸素ホーン及びガス発生器より、2本の吹管又は二又吹管に連絡する。ガス圧力は 3~4 気圧が適当で、ガス炎は中性炎又は多少アセチレン過剰の還元炎を用いる。加熱開始後は、火口を向い合せて中断することなく、対照的に動かし、均等に而も速やかに、心部まで所要温度に透熱する様努める。

接合部表面が、熔解温度に近くなつた時は、火口を遠ざけて、過熱を防止し、所定のふくらみ生成後も数秒間加熱する如く作業するのである。

事故等のため、作業途中で加熱を中断した場合は、これを再圧接しても其の強度は保証されない。

5. ガス圧接法の接着理論

接合部が熔解せずに接合すると言う本法の接合機構は、未だ定説はないのであるが、参考までに今まで発表された諸氏の説を示すと次の様である。

a. A. B. Kinzel: — 加圧及び特に加熱によつて接合面の原子が互いに拡散を起し、接合面を通じて再結晶の現象を起して結合する。

b. L. Fine: — 加熱により接合面の表面エネルギー

が増大すると、接触している金属原子は其の周辺の接合空洞部に移動して、金属接触面を増大する。其の後は Kinzel の説明と同様であるが、金属接触を最後まで起さない所には空洞が残る。

c. J. M. Parks: — 両接合面は凸部で接触しているから、此の部分は圧力により降伏点以上となり、容易に変形を起して金属接触面積を増大する。尚加熱により接合部は変態温度以上となるから、金属の降伏点は 0 に近くなり、全面接触を起して接合面を通過して再結晶が行われる。

6. ガス圧接法による接合強度の標準

接合強度に影響するものは、前記作業の諸条件によつて決定される。

多数の実験の結果を分析すれば、適切な作業管理、整備された機械、基準作業の励行、熟練せる操作、等が大切であることが明らかなので、此れ等を充分取入れて作業すれば、常に一様な強度の信頼性の高い接合が得られる。

現段階の技術の程度は、勿論最終のものではなく研究中ではあるが、大体固定した強度を得ている。

a. 抗張強度	母材に対し 100% 以上
b. 伸 び	25% 以上
c. 疲労強度	母材に対し 100% 以上
d. 衝撃値	母材に対し 85% 以上
e. 曲 げ	180° で亀裂を生じない

7. 圧接鉄筋の試験

顕微鏡、硬度計、衝撃機、回転曲げ試験機等による試験は資料作成に手数を要するが、引張試験器、曲げ試験器等は、鉄筋を其のままの状態で試験出来る。

尚非破壊試験法については、凡ての熔接試験の課題として世界的に研究されている。

a. 抗張力、降伏点、伸び試験 此れは引張試験機によつて同時に試験される。最も普通に行い易く而も実用的な方法である。ふくらみがあれば完全接合の場合は 50% 位強度が大になるから、ふくらみを削つて試験するのが本格的であるが、鉄筋の場合は其のまま試験して差支えなく、例え接合部切断があつても、母材の設計強度以上であれば実用に差支えない。

伸びは高温加工の影響で、硬度硬化があるので、母材よりも低い。25% 以上あれば使用に差支えない。

b. 曲げ試験 接合部は高温加工の影響のため結晶組織及び硬度の変化があるが、可及的小半径で、180° 曲げた場合に、破断や外側亀裂等が認められない。

8. ガス圧接法と構造への影響

ガス圧接法による接合強度は、母材と殆んど同一で、信頼性も極めて高いので、仕様書の制限する鉄筋継手の作り方に、変更を来すことになるし、又各種の利点を活用して構造上の変化、即ち設計上、材料選択上、施行上等に種々の改善が計られ、進歩があるものと考えられる。

A. 高張力鋼の使用が可能である。

従来、SS50、SS60 等の高級鋼は経済上有利であることは知られておりながら、加工の困難とか重ね継手のロス等のため、使用されなかつたが、圧接により解決されたので鋼量を減じ、構造物の断面を減じ、全体重量を軽減して、高層建築への要望に添う様になる。

B. 小断面構造の鉄筋の合理化が出来る。

鉄筋を被覆するコンクリートの厚さには限界があるが、小断面構造物では重ね継手はコンクリート被覆の得られないことが多い。然るに圧接継手によれば、其の心配がないので、鉄骨補助鉄筋とか、ブロック空洞内鉄筋、薄板スラブ鉄筋、シェル構造鉄筋等に使用して極めて合理的な配筋と、コンクリートの打設が完全に行われることになる。

C. コンクリート施行が容易になる。

重ね継手はコンクリート施行の障碍となつている。殊に基礎とか、柱下部等継手の集中している所では、豆板や、ポケットが生じて弱点を残していることは周知の通りであるが、鉄筋を圧接することにより、解消された事は最も著しいことである。此のため従来よりも太筋を用いて鉄筋量を増加し、或いは構造断面を縮少し得る等、合理的な構造物を作ることが出来る。

D. 強度に應ずる合理的配筋が出来る。

圧接法によれば、異径鉄筋の接合が可能であるから、柱、橋脚、煙突等の如く上部細筋を接合するとか、片持構造物、土留擁壁等の如く強度に応じて異径筋を接合して、経済的且つ合理的な配筋が出来て其の応用範囲も広い。

E. 鉄筋の長さに対する考慮は不要である。

圧接法によれば特別の場合を除いて、型枠上、或いは足場上に於て何れの方にも鉄筋を伸長出来るから、鉄筋 1 本の長さの考慮は不要である。シェル構造の円形筋で、2,400 m を接合した例もある。

又端フックは運搬、組立其の他作業に障碍となるが、組立、接合を終つた後、予め製作した両端フックを接合して組立を簡易化することが出来る。

9. ガス圧接法の経済性

a. 鉄筋の節約 鉄筋の重ね継手の長さは、土木標準仕様書では径の 30 倍以上、建築標準仕様書では径の 40 倍以上（張力箇所継手）となつている。此れに両端フックを加えると、夫々 50 倍及び 60 倍の鉄筋長を要する

ことになるが、圧接により此の全部が節約される。今普通に用いられる 5.5 m 定尺鉄筋について、継手長さや、節約量を示すと次の如くである。

鉄筋径 (mm)	継手長さ l (cm)		継手重さ (kg)		定尺鉄筋に対する場合 l/5.5-l %	
	50d	60d	50d	60d	50d	60d
9	45	54	0.22	0.27	9.0	11.0
13	65	78	0.68	0.81	13.5	16.5
16	80	96	1.26	1.52	17.0	21.0
19	95	114	2.12	2.55	21.0	26.0
22	110	132	3.28	3.93	25.0	31.5
25	125	150	4.31	5.78	29.5	37.5
28	140	168	6.78	8.11	34.0	44.0
32	160	192	10.08	12.10	41.0	54.0

此の他に鉄筋作業には各種の端切が発生して、スクラップとなるのであるが、経済限界以上のものは、圧接して定尺化されスクラップは極めて少なくなる。

b. 圧接に要する消耗品類 面仕上げの場合動力ケラインダーを使用する時は、電源は 100 V で 8 時間作業に対し 1 KW で充分である。酸素ポンペ 1 本につきカーバイト $\frac{3}{4}$ 罐程度である。

酸素ポンペ 1 本で出来る圧接箇所数

鉄筋径 (mm)	9	13	16	19	22	25	28	32
箇所数	600	400	250	180	130	100	80	60

c. 技術責任上の経費 本法は最新の技術であるから、施工に対し技術者は責任を負い、各種の試験、研究をして完成に努めている。特許の工法並びに圧接器の使用とか、技術員の養成保有とか、各種試験等のため、圧接費を多少高価にしている。

d. 圧接作業の能率 作業員は普通 3 人組で太筋は 4 人組となる。足場上では凡て 4 人組で而も能率は約 25% 減となる。1 日 8 時間作業として、圧接数は大略下の如くである。

鉄筋径 (mm)	9	13	16	19	22	25	28	32
箇所数	600	400	250	180	130	100	80	60

e. 作業上の諸経費 作業所が地上、上家内、鉄筋の小運搬不要、安定した姿勢等の好条件な作業であれば能率もよいが次の様な場合は低下する。

i 長尺鉄筋、加工鉄筋等の場合は能率が低下する。

- ii 屋外特に風が強い (5~6 m 以上) 場合は低下する。
- iii 作業員の出先現場では費用が増大する。
- iv 雨期、冬期では作業日数、作業時間が減少する。
- v 足場上作業では能率が低下する。

以上の様にガス圧接費は、各種の経費、雑費が必要であるが、尚鉄筋の節約費に比較して安価である。

9 mm 筋を除いて、普通に使用される鉄筋については、其の節約費の凡そ 80~90% 程度である。太筋の多い橋梁鉄筋等の場合は、凡そ 70~80% 程度の低価格である。

f. 圧接長さの経済限界 鉄筋作業には各種のスクラップが発生するが、これを圧接により定尺化する場合は、鉄筋価格と、スクラップ価格とをにらみ合せて、決定されるが、其の限界の一例は次に示す如くである。但し本表は鉄筋 4 万円/ton, スクラップ 1 万円/ton, 加工組立 3 千円/ton とする。

径 (mm)	13	16	19	22	25	28	32
l (m)	2.1	1.2	0.85	0.66	0.59	0.55	0.48

鉄筋ガス圧接仕様書 (案)

- a. 責任 鉄筋の継手をガス圧接法により施行する場合は、試験研究機関に於て選択した施行者の責任施行でなければならない。
- b. 方式 ガス圧接法は非熔融方式とし、加工、加熱により、圧縮接合せしむる方法によるものとする。
- c. 機械 圧接機は、上の方式を行い得る指定品にて、能力 2.5 吨以上を有する 2 台以上を常に整備して置かなければならない。

d. 作業員 ガス圧接作業員は、試験研究機関の検査に合格し、写真添附の認定書を所持する 2 名以上の者でなければならない。

e. 作業計画 ガス圧接作業は予め、施行期日、場所等の承認を受け、器材の準備、天候其の他を考慮して、作業計画をたて、慎重入念に施行しなければならない。

f. 面仕上げ 鉄筋の端面は、軸方向に略直角な平面とし、錆、油、其の他異物除去を完全にし、圧接機に装着した場合、接合面の間隙は最大の部分で 3 mm を越えてはならない。

g. 加圧力 圧接作業中接合面の加圧力は常時 1 mm²につき、2~3 kg を保持する如く作業しなければならない (参考表—I)。

h. 加熱 圧接作業中、接合部の加熱には、鉄筋径に応ずる指定の火口 2 箇、又は特殊火口を用い、ガス炎を中断することなく、均等に加熱しなければならない (参考表—II)。

i. 圧縮とふくらみ 圧接作業中、接合部には、圧縮による指定のふくらみが生成するまで、加圧、加熱を継続しなければならない (参考表—III)。

j. 冷却 圧接作業終了後は空冷とし、雨露等による急冷を避けなければならない。

k. 試験 圧接箇所すの抜取試験は下記による。

工事に使用する材料中より、圧接 50 箇所につ 1 箇所割合で、試験片を取り、其の抗張力は母材強度以上でなければならない。但し切断は、何れの部分でも差支えない。

試験の結果、所定の強度に達しないものの多い時は、作業を中止して、作業を検討改善して、再試験を行うことが出来る。

参 考 表

鉄 筋 径 (mm)	9	13	16	19	22	25	28	32
I 加 圧 力 (kg)	200	400	600	900	1,200	1,500	1,900	2,400
II 火 口 番 号 (No.)	1	2~3	3~5	5	5~7	5~7	7~10	10
III ふ くら み 量 (mm)	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0

参 考 文 献

大井外 2	鉄道業務研究資料	1952	9 卷 5 号	大井	熔接学会誌	1953	1 月
大井	熔接学会誌	1952	3 月	川又外 1	鉄道業務研究資料	1953	10 卷 7 号
大井	建築技術	1952	9 月	大井外 1	建築学会誌	1953	7 月
大井外 1	鉄道業務研究資料	1953	10 卷 4 号	稻積	土木技術	1954	3 月
				竹山	建築技術	1954	4 月