

自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する

共同研究報告書(5)

—「ユニット鉄筋」設計・施工マニュアル(案)—

1995年3月

建設省土木研究所
材料施工部コンクリート研究室

財団法人 先端建設技術センター

株式会社 大林組
鹿島建設 株式会社
株式会社 熊谷組
佐藤工業 株式会社
清水建設 株式会社
株式会社 錢高組

大成建設 株式会社
飛島建設 株式会社
西松建設 株式会社
株式会社 間 組
前田建設工業株式会社

Copyright © (1995) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する
共同研究報告書（5）
 —「ユニット鉄筋」設計・施工マニュアル（案）—

建設省土木研究所	材料施工部	コンクリート研究室	室長	河野 広隆
			研究員	森濱 和正
財団法人	先端建設技術センター		主任研究員	大内田博喜
			〃	垣内 幸雄
			〃	加藤 勝彦
			〃	芝野 昭夫
株式会社	大林組	技術第四部	技術課長	原田 暁
鹿島建設	株式会社	知的財産センター	担当部長	重松 和男
株式会社	熊谷組	技術研究所	材料系研究部 課長	佐藤 孝一
佐藤工業	株式会社	中央技術研究所	副所長	岩藤 正彦
清水建設	株式会社	土木本部	技術第一部 副部長	小野 定
株式会社	銭高組	土木本部	営業部 課長	福永 英治
大成建設	株式会社	技術研究所	副所長	内藤 隆史
飛鳥建設	株式会社	技術本部	土木研究開発部 主任	川端 康夫
西松建設	株式会社	技術研究所	研究部長	大矢 一夫
株式会社	間組	技術本部技術研究所技術研究部	主任研究員	村上 祐治
前田建設工業株式会社	技術研究所	次長		出頭 圭三

要 旨

建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」では、「自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する研究」に関して、1990年度より建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センター、民間企業11社で共同研究を実施した。

本研究は、建設事業の高品質化、効率化、労働環境の向上を図る方策として、鉄筋コンクリート構造物を対象にして、施工の合理化・省力化に当たって、現行諸基準の問題点を検討し、自動化・合理化に適した設計・施工マニュアル（案）の作成を行うものである。

本報告書は、溶接した鉄筋の強度試験、重ね継手を同一断面に集めた場合（全数継手）の載荷実験、ユニット鉄筋を使用した試験施工などの調査結果をもとに、「ユニット鉄筋」設計・施工マニュアル（案）を作成した。

キーワード：鉄筋の加工・組立て、ユニット鉄筋、全数継手、アーク溶接、スポット溶接、品質管理

共 同 研 究 者

機関・企業名	氏 名	役 職 名	担当年度
建設省土木研究所	嶋 久	機械施工部長	90年度
	津 池	機械施工部長	91～92年度
	岡 崎	材料施工部長	93年度
	吉 野	材料施工部長	94年度
	池 村	企画部先端技術開発研究官	90年度
	藤 沢	"	91～92年度
	小 林	"	93年度～
	河 野	地質化学部コンクリート研究室長	90年度
	森 濱	材料施工部コンクリート研究室長	91年度～
	村 椿	" 研究員	90年度～
		積算技術研究センター システム課技術基準係長	90年度～
(財) 先端建設技術 センター	赤 松	専務理事	90年度
	藤 井	"	91年度～
	酒 井	"	93年度～
	小宮山	常務理事	90年度～
	佐々木	"	93年度～
	原 田	研究第二部長 部長	90～91年度
	糠 沢	" "	92年度～
	小 川	" "	94年度
	大内田	主任研究員	90～91年度
	垣 内	"	92年度～
	加 藤	"	93年度～
	芝 野	"	94年度～
(株) 大林組	扇 啓	土木技術本部 技術第四部長	90年度～
	菊 地	" 設計第二部長	90年度～
	原 田	" 技術第四部 技術課長	90年度～
	堅 川	土木技術本部 技術第四部 技術課長	90年度～
鹿島建設(株)	重 松	知的財産センター 担当部長	90～94年度
	大本友	技術研究所 主管研究員	90～91年度
	坂 橋	" 主任研究員	90年度
	山 田	" 研究員	90～93年度
	寺 内	" 研究員	91年度
	六本	" 研究員	91年度
	坂 木	" 研究員	92～93年度
	井 井	" 研究員	94年度
(株) 熊谷組	松 浦	技術研究所材料研究部 主任研究員	90～92年度
	佐 藤	技術研究所材料研究部 課長	93年度～
	渡 部	" 係長	90年度～
	河 村	" 研究員	90年度～
佐藤工業(株)	岩 藤	中央技術研究所 副所長	90年度～
	弘 中	" 主任研究員	90年度～
	宇 野	" 研究員	90年度～

清水建設(株)	小野村克彦 木村久雄 阿部正智 江戸渡栗智仁	土木本部技術第一部 副部長 課長 課長 課員 課員	90年度～ 90年度 92年度 90年度～ 90年度～
(株) 銭高組	鶴岡胤英 富士永泰 福永英彦	技術本部 技術研究所 副所長 土木本部 生産システム部 課長 " 営業部 課長	92年度～ 92年度～ 92年度～
大成建設(株)	沖藤明 内藤隆 大友健	土木本部 土木技術部長 技術研究所 副所長 技術研究所 土木構造水理研究グループ	90～91年度 90年度～ 92年度～
飛鳥建設(株)	増洲孝二 大河原重昭 猪俣正弘 長谷川昌弘 田中端齊 川大倉康夫人	技術本部 研究開発部長 技術本部 研究開発部長 " 土木研究開発部長 " 技術研究所所長 " " " 土木研究開発部主任 " 研究開発部部員	90～91年度 90～93年度 93年度～ 91年度～ 91年度～ 91年度～ 90年度
西松建設(株)	大松矢一夫 高井健一 佐橋秀樹 浅藤幸三 原井田耕司	技術研究所 研究部長 " 主任研究員 " 主任研究員 " 主任技師 " 研究員 " 研究員	90年度～ 90年度～ 92年度～ 90年度 90～91年度 91年度～
(株) 間組	古部浩雄 大崎幸二 馬渡裕昭 庄野達夫 喜多達彦 早川雅治 村上祐治	土木統括本部技術設計第2部 部長 " 第1部 部長 " 第1部 課長 " 第1部 課長 技術本部技術研究所技術研究部 室長 土木統括本部技術設計第1部 係長 技術本部技術研究所技術研究部 主任研究員	90年度～ 90年度～ 91年度～ 91年度～ 91年度～ 90年度～ 91年度～
前田建設工業(株)	山田一宇 山村健三 出頭圭明 内田明 渡部正司 舟橋政久 牧野英良 中島良光	技術本部 技術研究所 副所長(現技術部長) " " 所長 " " 次長 " " 土木材料研究室 副室長 " " " (現技術部課長) " " " 副室長 " " " 主任研究員 " " " 研究員 " " " "	90～92年度 93～94年度 90～94年度 93年度 94年度 93年度 90～93年度 91年度～
オブザーバー：諏訪溶工(株)	諏訪弘 伊藤勇一 秋山義隆	技術部長兼社長 技術課長 開発営業課長	93～95年度 93～94年度 95年度

序

近年、建設事業においては、高い品質、高い精度の施工が求められる一方で、土木・建築施工現場の苦渋作業や危険作業から労働者を解放することが望まれている。また、建設業就業者の高齢化、熟練労働者の減少等の影響が問題とされている。

このため、建設事業の高品質化、効率化、労働環境の向上を図る方策として、土木・建築施工の自動化、合理化及び高度化のための新技術を早急に開発し、建設現場に的確に普及させる必要が高まっている。

このような状況を踏まえ、建設省においては1990年度より5年間の予定で総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」に取り組んだ。

この開発の一環として、鉄筋コンクリート構造物を対象にして、施工の合理化・省力化にあたって現行諸基準の問題点を検討し、合理化・省力化に適した設計・施工マニュアル（案）の作成を行うことを目的とする研究に関して、建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センター、（株）大林組、鹿島建設（株）、（株）熊谷組、佐藤工業（株）、清水建設（株）、（株）銭高組、大成建設（株）、飛島建設（株）、西松建設（株）、（株）間組及び前田建設工業（株）が共同研究を実施した。

本研究では、現行諸基準の見直しや、アンケート調査などを実施^{〔1〕}し、合理化、省力化効果の高いと考えられる以下の3課題について検討した。その結果をとりまとめたものである。

- ① コンクリートの打込み、締固めに関する課題
- ② 鉄筋の加工・組立に関する課題
- ③ 断面の単純化、配筋の標準化に関する課題

なお、本共同研究の遂行にあたっては、山梨大学の桧貝 勇先生をリーダーとする建設省「総合技術開発プロジェクト『建設事業における施工新技術の開発』土木部会 合理化施工分科会 鉄筋コンクリートワーキング」の委員の方々及び社団法人日本土木工業協会の「土木工事技術委員会 コンクリート専門部会」の委員の方々には、ご指導、ご鞭撻を頂きました。ここに深く感謝の意を評する次第である。

〔1〕 自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書

(1)、共同研究報告書、第89号、1993.3

目 次

序	頁
まえがき	1
I. ユニット鉄筋設計・施工マニュアル (案)	3
1. 総則	5
2. 設計	5
2. 1 適用構造物	5
2. 2 溶接された「ユニットの鉄筋」の許容応力度	6
2. 3 「ユニットの鉄筋」の形状	6
2. 4 「ユニットの鉄筋」の点溶接	8
2. 5 「ユニットの鉄筋」の重ね継手の設計	9
3. 材料	11
4. 製作	11
4. 1 総則	11
4. 2 加工作業	11
4. 3 溶接方法	12
4. 4 溶接作業者	12
4. 5 アーク溶接	13
5. 品質管理	13
5. 1 総則	13
5. 2 溶接部の管理項目と管理基準	15
5. 3 「ユニットの鉄筋」の仕上がり精度	15
6. 施工	16
II. 資料編	19
ユニット鉄筋の導入による施工合理化技術	
一点溶接および全数継手の影響の検討ー	21
1. まえがき	21
2. 点溶接鉄筋の強度実験	21
2. 1 点溶接の問題点, 検討課題	21
2. 2 実験概要	21
2. 3 実験結果	22
2. 3. 1 静的引張強度試験	22

2. 3. 2 溶接部の強度試験	22
2. 4 まとめ	22
3. 全数継手載荷実験	23
3. 1 全数継手の問題点, 検討課題	23
3. 2 継手強度に関する実験	23
3. 2. 1 実験概要	23
3. 2. 2 実験結果	24
3. 3 セン断力の影響に関する実験	24
3. 3. 1 実験概要	24
3. 2. 2 実験結果	26
3. 4 まとめ	28
4. あとがき	28
コンクリート用鉄筋に関する検討	29
1. はじめに	29
2. 塗装鉄筋の耐久性	29
2. 1 目的	29
2. 2 飛末帯における暴露試験	29
2. 2. 1 試験の概要	29
2. 2. 2 使用材料	29
2. 2. 3 供試体	29
2. 2. 4 試験結果	29
2. 3 海洋上における暴露試験	30
2. 3. 1 試験の概要	30
2. 3. 2 試験結果	30
2. 4 考察	31
3. 点溶接した鉄筋の力学特性	31
3. 1 目的	31
3. 2 試験材料	31
3. 3 試験結果	31
3. 3. 1 静的引張強度試験結果	31
3. 3. 2 疲労強度試験結果	32
3. 4 まとめ	33
4. 電炉鋼製横ふし太径異形鉄筋の疲労特性	33
4. 1 目的	33
4. 2 供試体および試験方法	33
4. 3 試験結果	33

4. 4 まとめ	34
参考文献	35
鉄筋の諸特性に及ぼすスポット溶接の影響	36
1. まえがき	36
2. 実験概要	36
3. 引張試験	37
4. 疲労試験	38
5. せん断・引裂き試験	39
6. 曲げ試験	40
7. まとめ	41
8. あとがき	41
参考文献	41
ユニット鉄筋の重ね全数継手の継手長と継手位置に関する実験	42
1. はじめに	42
2. 実験概要	42
3. 実験結果	43
3. 1 ひびわれ・破壊状況	43
3. 2 荷重-たわみ関係	43
4. まとめ	43
ユニット鉄筋の重ね全数継手の補強方法に関する実験	44
1. はじめに	44
2. 実験概要	44
3. 実験結果	44
3. 1 ひびわれ・破壊状況	44
3. 2 荷重-たわみ関係	44
3. 3 塑性率と横補強筋比	45
4. まとめ	45
参考文献	45

わが国の社会資本の整備状況は、欧米に比べまだまだ低い状況にあり、今後も良質な構造物を大量に建設するあるいは造り替えてゆくことが要請されている。社会資本の整備にあたって、鉄筋コンクリートは欠かすことのできない重要な構造材料である。しかし、鉄筋コンクリート構造物を建設するまでには多くの工程があり、それぞれに多くの熟練工が必要である。また、それらの作業内容は、苦渋作業が多い代表的なものであり、建設産業の人手不足、高齢化の影響の最も深刻な工種のひとつとなっており、鉄筋コンクリート工を自動化あるいは合理化することが急務となっている。

鉄筋コンクリート工を自動化・合理化するにあたっての障害として、ひとつには土木構造物は一品生産が多く、繰り返しによる合理化・自動化を行いにくいということがあり、もうひとつとして、現行の基準類は熟練工による作業を前提としており自動化・ロボット化がしにくいということがあげられる。

前者に対しては、一部では既に標準設計等の規格化が進んでいるが、より多種の部材の規格化・標準化や単純化、さらにはそれらに用いる鉄筋のユニット化、部材のユニット化や大型部材のプレキャスト化等が図られなければならない。これらを整備することにより初めて自動化施工やロボット施工の合理性が発揮できる。後者に対しては、自動化・合理化がスムーズに行えるような基準の見直しが必要である。

本課題では、コンクリート工の現場打設を対象に、このような合理化・省力化技術が取り入れられるような鉄筋コンクリートの設計施工に関するマニュアル（案）を作成することを目的として検討した。

そのうち、本報告書は、『ユニット鉄筋』設計・施工マニュアル（案）を作成したものである。特に、点溶接と全数継手に関する実験〔1〕〔2〕、試験施工結果〔3〕などをもとに作成した。

-
- 〔1〕自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書(1)、共同研究報告書、第89号、1993. 3
 - 〔2〕自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書(2)－スポット溶接した鉄筋の引張強度－、－全数継手に関する載荷実験－、共同研究報告書、第118号、1995. 5
 - 〔3〕自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書(3)－試験施工結果－、共同研究報告書、第119号、1995. 5

I 「ユニット鉄筋」設計・施工マニュアル（案）

1. 総 則

ユニット鉄筋を使用する場合、設計・施工はこのマニュアルに従うものとする。

ユニット鉄筋は、原則として品質管理が行きとどいた工場にて製作することが望ましいが、現場においても、このマニュアルに準拠して製作することができる。なお、ユニット鉄筋を使用するにあたっては、設計図書にその形状寸法・製作方法、製作精度等を明記しなければならない。

【解説】

ユニット鉄筋を使用する場合には、構造物の耐荷力、施工性を考慮した上で適用部材（構造物）を選定する必要がある。このマニュアルでは、

- ・鉄筋交点の溶接により鉄筋の疲労強度が低下すること
- ・ユニット鉄筋の継手が重ね継手となり、継手位置が1断面に集中すること

を十分考慮した上でユニット鉄筋の適用部材（構造物）を選定することとした。

ユニット鉄筋の製作は品質管理が行きとどいた専門の工場で行なうことが望ましいが、施工現場においても本マニュアルに従って十分な品質管理を行えば製作することができる。製作時の点溶接は、溶接方法の特長を考慮し、製作にはスポット溶接を推奨した。なお、ユニット鉄筋の形状寸法、製作方法、製作精度、溶接箇所、継手の位置等は設計図書に明記する必要がある。

2. 設 計

2.1 適用構造物

- (1)一般に、「ユニット鉄筋」とはどのような構造物にでも適用は可能である。
- (2)「ユニット鉄筋」は、溶接により鉄筋の疲労強度が低下するので、「スラブ」や「はり」など常時繰返し荷重が作用する構造物に適用する場合には十分な検討を行わなくてはならない。

【解説】

- (1)「ユニット鉄筋」は鉄筋工事の自動化・合理化を目指して使用されるが、このマニュアルに従って設計・施工するのであれば、どのような構造物にでも適用は可能である。
- (2)「ユニット鉄筋」は、鉄筋同志を溶接により組立てることを前提としている。適確に溶接された鉄筋の溶接部の引張強度は殆ど低下しないことが確認されているが、疲労強度はかなり低下するおそれがあることが明らかにされている。従って、本マニュアルでは擁壁、ボックスカルバート、橋脚などを主な適用対象と

し、「スラブ」や「はり」などで、車両等により常時繰返し荷重が作用する構造物に適用する場合には、溶接された鉄筋部位での鉄筋の曲げ応力度の絶対値が小さくかつ応力変動幅が小さいことを確認すること、一方向ユニット（2.3(2)参照）を採用することなどの検討が必要である。

2.2 溶接された「ユニット鉄筋」の許容応力度

- (1)溶接された「ユニット鉄筋」の許容応力度は、一般の基準類の規格値を使用してよい。
- (2)溶接された「ユニット鉄筋」の疲労強度は、試験によって求めることを原則とする。

【解説】

- (1) 本マニュアルに示す製作方法で溶接を行えば、溶接された鉄筋の溶接部の引張強度は殆ど低下しないことが確認されている。
- (2) 溶接された鉄筋の疲労強度は、工場製作の場合でもかなり低下することが考えられ、鉄筋径や溶接の程度などによってもかなり異なっている。従って、試験によって求めるのがよい。試験を行わない場合や現場製作の場合には、疲労強度は規格値の50%としてよい。

2.3 「ユニット鉄筋」の形状

- (1)一般に「ユニット鉄筋」の形状はクレーン車で吊込むことが可能であれば、どのような形状のものでもよい。
- (2)「ユニット鉄筋」の形状を一方向ユニットとすることにより、合理化に適した配筋方法の適用が可能になる。
- (3)工場製作する場合は運搬可能な形状としなければならない。
- (4)「ユニット鉄筋」同志を接続する場合には、「2.5『ユニット鉄筋』の重ね継手の設計」に従った形状とする。

【解説】

- (1)「ユニット鉄筋」はクレーン車で吊込むことになるので、クレーンで吊り上げた際に、変形したり破壊したりしないように鉄筋または鋼材で適宜補強する。
- (2)「スラブ」などに使用する「ユニット鉄筋」を格子状に組んで溶接すると、製作に時間がかかり、熱の影響を受ける箇所が多くなり、鉄筋も変形しやすくなる。また、配力筋の継手が多くなり、鉄筋量が増え、継手を合わせ結束に多くの時間を要し、しかも弱点部が多くなる。運搬の制約からも、形状が大きな制約を受ける。

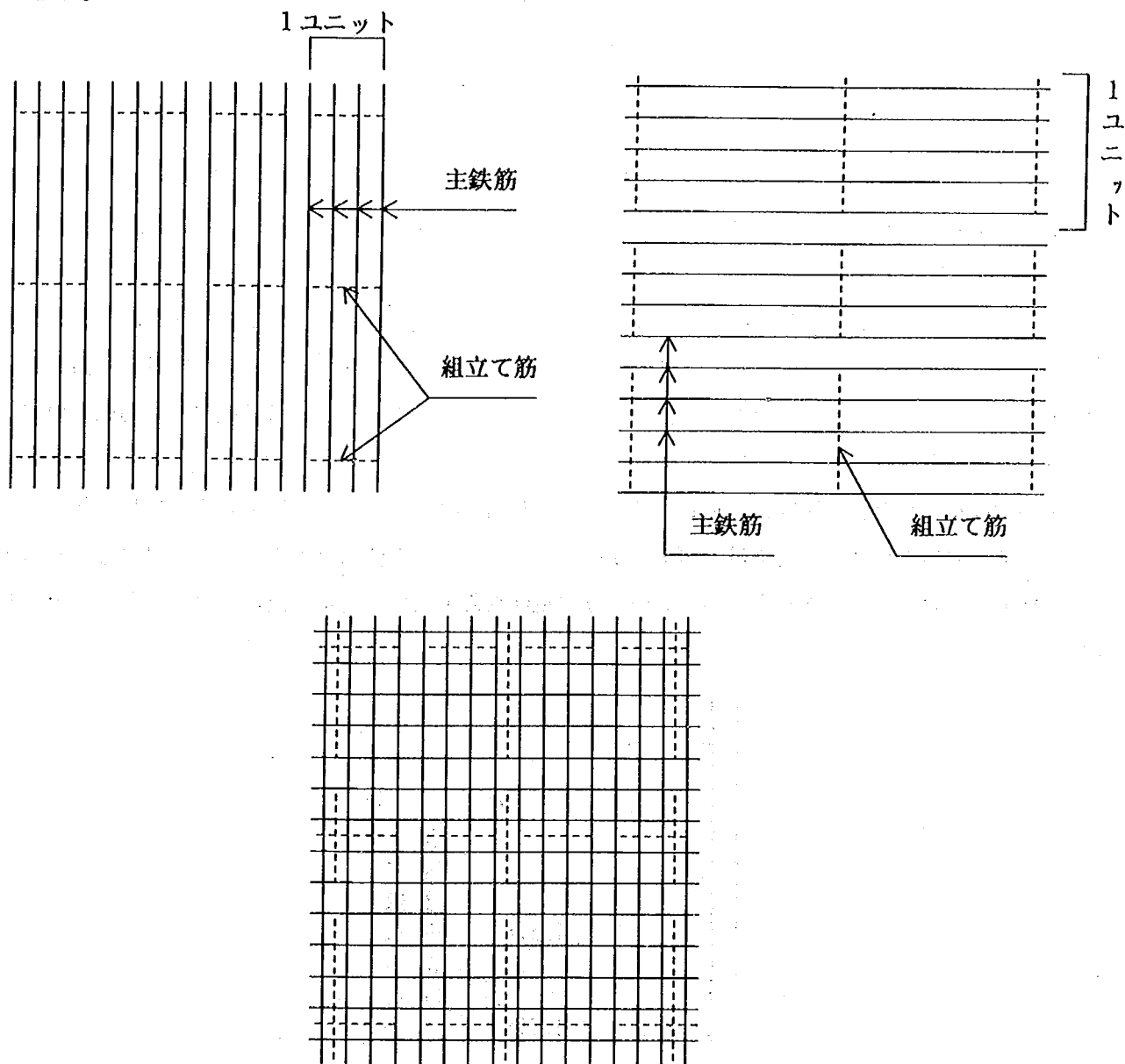
これらの欠点を解決する配筋法に、一方向ユニット（図解-1）の利用が考えられる。一方向ユニットは、主鉄筋方向と配力筋方向の鉄筋を別々に製作し、現場ではそれぞれを組み合わせるだけである。この方法を

採用することにより、溶接禁止部分に対し、「ユニット鉄筋」を容易に導入できる可能性がある。

例えば、橋脚基部のように大変形繰返しを生じる恐れのある部分は、溶接部分の伸び能力が低下する場合があるため禁止しているが、主鉄筋と帯鉄筋を別々に製作することにより解決できる可能性がある。

「スラブ」のような疲労部材に対しても、端部や圧縮部分を溶接するようにすれば疲労強度の低下を考慮する必要はなくなり、容易に適用できる可能性もある。

障害物などがある場合は、網目の大きいメッシュを組み合わせることによって所定の間隔に仕上げることもできる。



構造配筋完了

図解-1 一方向ユニット

(3) 工場製作する場合は、自動溶接機などの加工機械の規模により形状の制限があるが、運搬可能な形状とし、現場ヤードでさらに大きなユニットに組み立ててから型枠内に吊込むこともできる。

2.4 「ユニット鉄筋」の点溶接

(1) 点溶接のせん断強さ

溶接点のせん断強さは、下限値を1 ton以上、かつ、施工時に作用すると考えられる荷重の2倍以上とする。施工時の荷重は、一般には1ユニットの質量としてよい。

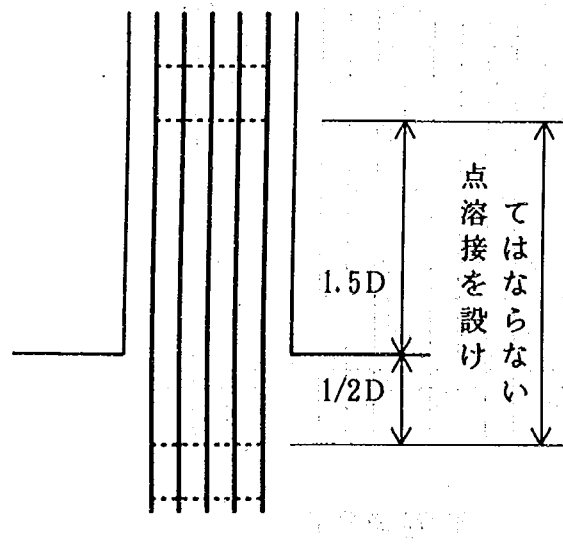
(2) 「ユニット鉄筋」は、溶接により鉄筋の伸び能力が低下するので、最大の曲げモーメントが生じる位置、断面の変化点などでは点溶接を行ってはならない。

【解説】

(1) せん断強さの下限値は、試験により最大値と最小値に約2倍の開きがあることが確認されている。また、施工中によく作用すると考えられる引裂き強さは、せん断強さの約80%であることから1点に集中して荷重が載った場合でも溶接部が破断しないことを考慮した。

溶接による熱の影響を少なくし、鉄筋同志の過剰な食い込みを防止するため、せん断強さの上限値を設けておくといよい。主鉄筋の断面積に対して5%の食い込みを許容するとすれば、主鉄筋径に対して約 $1/2$ の組立筋を溶接すると、せん断強さの上限値は、D38は約10 t (D38-10t)、D32-6.5t、D25-4.0t、D19-2.3t、D16-1.6t、D13-1tとなる。

(2) 溶接部で破断したときの伸びは、それ以外で破断した場合の $1/2$ 程度に低下する。橋脚の基部などは、地震時などに大変形の繰返しを受ける可能性が高い。このような部位に溶接を設けると設計どおりの変形性能を確保できない恐れがあることから、このような危険な部位には点溶接を設けてはならないこととした(図解-2)。



図解-2 点溶接を設けてはならない部位(橋脚基部の例)

2.5 「ユニット鉄筋」の重ね継手の設計

(1)この項は配力筋を除く「ユニット鉄筋」同志の重ね全数継手の設計に適用する。重ね全数継手とならないような継手構造は従来通りの設計を行ってよい。

(2)部材の中で重ね全数継手を設ける位置は、疲労を受けず、コンクリートの許容せん断応力度が $2/3$ 以下とすることを原則とする。

(3)重ね全数継手の継手位置、継手長、横補強筋量は、表-1のとおりとする。

表-1 重ね全数継手

		擁 壁	橋 脚
継手位置	始点	計算上不要になった位置	主鉄筋引張応力度の $1/2$ 以下、かつ基部から $2D$ 以上
	終点	継手筋の引張応力度が $1/2$ 以下	継手筋の引張応力度が $1/2$ 以下
継手長		D + 基本定着長以上、かつ基本定着長の 1.3 倍以上	D + 基本定着長以上、かつ基本定着長の 1.7 倍以上
横補強筋量		(配力筋の規定(主鉄筋の $1/6$ 以上))	せん断補強筋比 0.4% 以上 横補強筋の径は主鉄筋の $1/2$ 程度

(4)重ね全数継手部の主鉄筋のあきは 2.5ϕ 以上、かぶりは 1.25ϕ 以上とする。

【解説】

(1) 配力筋の継手は、重ね全数継手となってよい。従来通りの継手の設計方法は、土木学会「コンクリート標準示方書・設計編」による。

(2) 重ね全数継手は、鉄筋の引張力がコンクリートのせん断力を介して応力伝達される継手であり、疲労に関する検討が行われていないため制限を設けた。また、非常にせん断破壊に弱いため、曲げ破壊するような断面に設けることにした。

(3) 継手方法

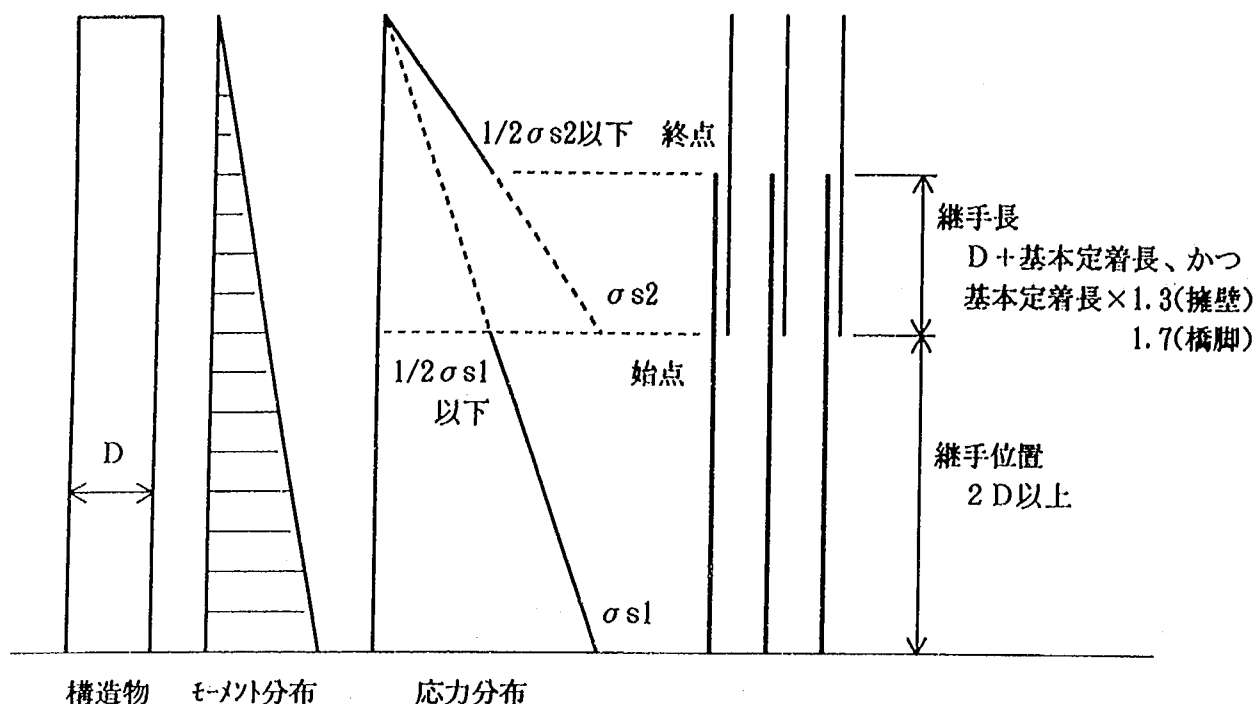
1) 継手位置

継手位置は、コンクリートの付着割裂ひび割れによる破壊および段落とし部のせん断破壊を防ぐため、大きな引張応力が作用しない位置とした。

橋脚については、基部のように大きな繰返し荷重を受ける部材では、繰返しにともなう曲げからせん断への移行にともなう鉄筋に沿ったひび割れの影響を避けるため、継手の位置を最大曲げモーメントが発生する断面から部材有効高さ(D)の 2 倍($2D$)以上離すこととした。

2) 継手長

付着割裂強度が、計算上、主鉄筋降伏点の 2 倍程度確保できるようにした。



図解-3 重ね全数継手の継手位置、継手長

3)横補強筋量

付着割裂破壊強度の増加に寄与するのは、横補強筋の隅角部である。擁壁のような部材は、通常隅各部を有する補強筋が入っていないため、配力筋の効果を算定してはならない。

橋脚については、仮に継手位置に付着割裂ひび割れが生じても主鉄筋の降伏程度までの耐力・変形性能を確保するためには、せん断補強筋比にして 0.4%以上の補強筋が必要である。

横補強筋の径は、太い径を使用すると組数が少なくなり、補強効果の大きい隅角部の数も少なくなる。細い鉄筋を使用すると、ひびわれが発生したとき最外縁の鉄筋に大きなひずみを生じ、付着割裂破壊の原因になるため、あまり細い鉄筋も使用すべきではない。これらを考慮して使用鉄筋径は主鉄筋径の 1/2 程度とした。ただし、継手始点付近には多少太めの鉄筋を使用することにより初期のひび割れの開きを抑制するのも一方法である。横補強筋の配筋例を図解-4に示す。



図解-4 横補強筋の例

(4) オランガン式の適用条件の「鉄筋のあき」の上限以上にすることにより、継手強度の最低値が確保されるとともに、コンクリートの充填を良くする。

3. 材 料

- (1)「ユニット鉄筋」に使用する鉄筋は原則として JIS G 3112（鉄筋コンクリート用棒鋼）の SD345 とする。
- (2)主鉄筋には原則として呼び名 D16 以上を使用する。また、配力鉄筋には主鉄筋径の1/2以上の直径の鉄筋を使用する。

【解説】

- (1) ユニット鉄筋は通常交点を溶接して製作する。溶接時の加熱による鉄筋の材質変化は鋼に含まれる炭素量に影響されるが、SD295A は炭素量の上限値が規定されていないこと、SD295B は上限値が規定されているが鉄筋が一般に流通していないため入手が難しいことから、SD345 を使用することとした。
- (2) 鉄筋径が細いと溶接時に熱の影響を受け鉄筋が変形すること、運搬時や組立て時にねじれやたわみ等の変形を生じること、などから主鉄筋には D16 以上の呼び名の鉄筋を使用することとした。

4. 製 作

4.1 総 則

「ユニット鉄筋」の製作に使用する溶接方法は、原則としてスポット溶接によるものとする。

【解説】

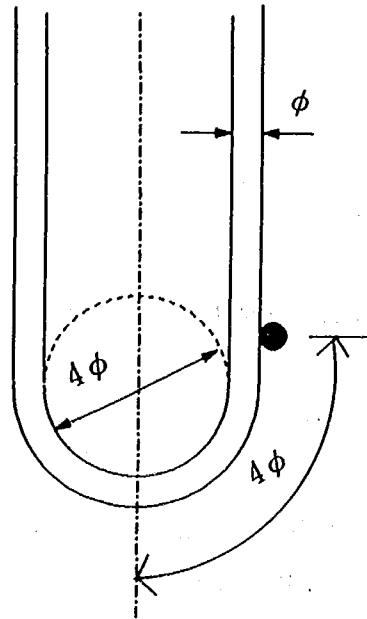
スポット溶接は、抵抗発熱を利用して金属の接合を行なう抵抗溶接法の一つである。ユニット鉄筋の製作に使用する溶接方法は、実績、品質管理等の面から、比較的信頼性の高いスポット溶接の使用を原則とした。

4.2 加工作業

- (1)「ユニット鉄筋」の加工ならびに組立は所定の品質が得られるように行なうものとする。
- (2)フックなど半径が小さい曲げ加工を行なう場合、曲げる位置は溶接位置から 4 φ 以上離すことを原則とする。
- (3)曲げ加工箇所に溶接箇所が含まれる場合には、曲げ半径は原則として試験による。

【解説】

- (2) 溶接部分は、熱によって割れやすいことから、溶接部分が加工箇所に含まれないようにしなければならない（図解－5）。



図解－5 曲げ加工

(3) 曲げ加工できる半径は、鉄筋径、溶接位置が巻き込まれるか（圧縮側）、外側（引張側）になるかによって異なる。鉄筋径が太く、溶接点が外側になるような曲げ加工の場合は、避けるほうがよい。やむを得ず曲げ加工する場合は、十分な余裕を持った曲げ半径としなければならない。

4.3 溶接方法

- (1) 縦筋と横筋の接合点（溶接点）は堅固で溶接し過ぎることなく、かつ確実に溶接されていなければならない。
- (2) 溶接条件は、溶接性能が発揮できるように鉄筋の組合わせに応じて、電流、通電時間、保持および加圧の設定を行なう。
- (3) 溶接条件を設定した後、微調整による溶接条件は許容範囲とし、その確認は初品検査の合格をもって示すものとする。
- (4) 溶接点の鉄筋径が異なる場合には、太径の条件で溶接を行う。

4.4 溶接作業者

溶接作業者は、電気抵抗溶接を中心に、金属の溶接技術に関する知識と、実務の教育を受けた者とする。

4.5. アーク溶接

- (1)アーク溶接を用いて「ユニット鉄筋」の製作を行う場合は、4.2、4.3節および5章に準拠しなければならない。
- (2)溶接作業者は、労働安全衛生法に定めるアーク溶接作業の特別教育終了者以上の者とする。

【解説】

現場で、アーク手溶接によりユニット鉄筋を製作する際には、十分な施工および品質管理を行わなければならない。そのために、施工要領書を作成し、これに基づき必要な設備機器、人員および品質管理体制などの措置を適切にとることが必要である。

アーク手溶接は、アークによって溶接部の母材および添加材を溶かして行う溶接方法である。その際に主な使用機器は次の通りである。

- 1)溶接機および溶接棒
- 2)自動電撃防止装置
- 3)予熱装置
- 4)溶接棒乾燥機
- 5)グラインダー、ワイヤブラシ、チップングハンマー等。

5. 品質管理

5.1 総 則

(1)品質管理

ユニット鉄筋の品質管理は、工程ごとに行わなければならない。

(2)品質管理の実施者

品質管理は、外観、目視、計測および破壊試験方法による品質管理の知識と実務教育を受けたものが実施する。

【解説】

- (1) ユニット鉄筋の工程ごとの品質管理項目、管理基準、管理方法の例を表解-1に示す。特に溶接部の機械的性質、ユニット鉄筋の形状・寸法については、施工性や構造物の強度、耐久性に与える影響が大きいいため入念に行わなければならない。

表解-1 ユニット鉄筋品質管理工程表

工程順	工程名	管 理 特 性		管 理 方 法				
		管理項目	管 理 基 準 値	確認頻度	測定方法	記録	異常時の処置	備 考
1	材料受入	1. 化学成分 2. 機械的性質 3. ロールマーク	JIS G3112 SD295A SD345 の規格値を満足している こと	・材料入荷毎	ミルシートにより 確認する	——	・不合格品はメーカー に返却	
		4. 引張試験	JIS G 3112	同上、n=3	JIS Z 2241	強度記録	同上	
2	材料切断	1. 径（呼び名） 2. 切断長さ 3. 曲がり	1. 製作図面による 2. 指示長さに対し±5mm 3. 全長に対し10mm以下	・各切断長さ毎 初回に1本測定 ・抜取りで測定	・寸法測定 ・目視	——	・他寸法に転用	
3	機械機構	1. 送りピッチ			・操作盤 ・入力調整	——	・再調整	
	溶接条件	2. 加圧力 3. 電流値 4. " 時間	作業標準による	・型替え等				
4	溶接部の 機 械 的 性 質	1. 溶接点せん断 試験	1. 1 tf以上、かつ、施工 上必要な強度以上 N=3 抜取り検査、全 数合格		・JIS G 3551 両側線を除いた 同一横線上のラ ダム4点平均	検査記録	1. 再調整 n=3 再調整 全数合格をもって合 格ロット 2. 不合格ロット処置判 定	試験片は製品に使用さ れた材料と同一材料で 、かつ、同一条件で溶 接されたものを代用で きる
		2. 溶接点を含む 引張試験	N=3 抜取り検査、全 数合格 また、母材の95%以上	AM、PM、各1回、1日 または 同径500枚毎、n=3	・JIS Z2241による 縦筋横筋各1本			
5	外観検査	1. 表面状況 2. 溶接状況 3. 曲がり、反り 4. 形状・寸法 5. ふしの高さ	1. ペイント、油、等着不可 2. 溶けこみ、剥離などが ないこと 3. 10mm以下 4. 網目 $\phi/3$ 以内 対角差 $\phi/2$ 以内 突出長 5mm以内 5. JIS G 3112に準ずる	・全数 ・サイズ替の都度 ・摩滅品のみ	・目視 ・寸法測定 （図面と照合） ・ノギス	—— 寸法記録	1. 同上 2. 同上、剥離の場合は 手直し可 3. 不可能は屑処分 4. 前回検査品までさか のぼり全数検査する	

5.2 溶接部の管理項目と管理基準

(1) 検査頻度

検査の頻度は、試験方法の難易などを考慮の上で、不良品が出荷されないように適宜行わなければならない。

(2) 外観観察

断面欠損などが生じていないものとする。

(3) 溶接点を含む引張試験

溶接点を含む鉄筋の降伏点、引張強さは、JIS G 3112の規格値以上、かつ、母材の95%以上とする。

(4) 溶接点のせん断強さ試験

溶接点のせん断強さは、2.4(1)に規定する施工上必要な強度以上とする。

【解説】

- (1) 検査頻度の例を表解-1に示すように、外観は全数を検査し、強度、寸法はユニットの型が変わった時や製作日が変わったときなどに行うとよい。
- (2) 特に溶接部の溶け込み、汚れ、剥離など異常があってはならない。
- (3) 引張強度は、鉄筋の強度や断面積などのばらつきから、95%以上の強度があれば母材と同等程度と見なしてよい。
- (4) 溶接点には、施工時にユニット鉄筋を吊り上げるなど、大きな荷重が作用するので、そのような場合にも溶接点がはずれることがないように、十分管理しなければならない。

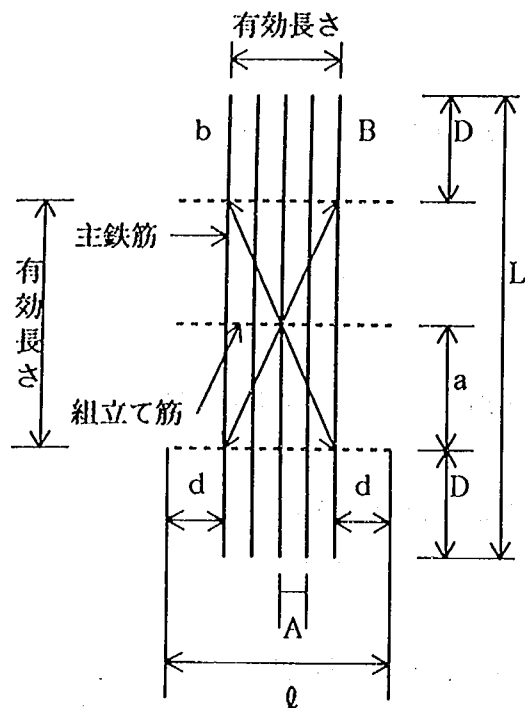
5.3 「ユニット鉄筋」の仕上がり精度

組立て後の寸法は以下の基準に従って管理するものとする。

- 1) 長さは ± 5 mm以内。
- 2) 有効長さは ± 5 mm以内。
- 3) 突出長さは ± 5 mm以内。
- 4) 網目は $\pm \phi / 3$ 以内。
- 5) 対角差は $\phi / 2$ 以内。
- 6) そりは10mm以内。

【解説】

ユニット鉄筋は、今後高精度が要求されるものと考えられることから、従来用いられていたJIS G 3551 (溶接金網) の規準値より厳しくした。ユニット鉄筋の形状・寸法の関係を図解-6に示す。



項 目	寸法公差
A 主鉄筋(網目)間隔	鉄筋径 $\pm \frac{\quad}{3}$
a 組立筋(網目)間隔	
L 主鉄筋方向長さ	± 5
$\varnothing$ 組立筋方向幅	
D 主鉄筋方向突出長さ	
d 組立筋方向突出長さ	$\pm \frac{\text{主鉄筋}}{2}$
B - b 対角差	

図解-6 ユニット鉄筋の形状・寸法

6. 施 工

- (1) ユニット鉄筋は、組立て工程に合わせて現場に搬入する。車両の積み込みにあたっては、運搬途中で荷くずれを起こすことのないように注意する。
- (2) 現場に搬入されたユニット鉄筋は、振れ、そり、溶接点のはずれなどが生じないように貯蔵する。また貯蔵が長期におよぶ場合には錆が生じないようにする。
- (3) ユニット鉄筋の組み立ては、クレーンで吊り点を吊って所定の位置に設置し、許容誤差内におさまるように組み立てる。

【解説】

(1) 運 搬

製作工場などで製作されたユニット鉄筋は、組み立て工程に合わせて、トラックなどで現場に運搬する。一般道路を使用する場合、積載幅が2.5m、積載高が地上3.8m、積載長が12mを超えると所轄道路管理者の許可を受ける必要があるため、ユニット鉄筋の積載にあたっては、その限度以下の寸法であれば、ほとんどのクラスのトラックの荷台に積載可能となるので運搬には都合がよい。ユニット鉄筋の運搬中、振動によ

り荷くずれを起こすことのないように車床に適当なまくら木を置いたり、ユニット鉄筋をワイヤーロープ、レバブロック等を用いて締め付ける。なお、ワイヤーロープは溶接点付近に掛けるようにしたり、適切なクッション材を用いるようにして、ユニット鉄筋に損傷を与えないように配慮する。

(2) 貯 蔵

搬入されたユニット鉄筋は、種類、使用箇所別に整頓して貯蔵する。各ユニット鉄筋を分類するために、組立て筋など荷重の掛からない鉄筋の表面や、鉄筋の切断面部にペイントで色分けする方法が一般的に行われている。また、検査済みのもの、未検査のものおよび不合格品はそれぞれ混同されないように貯蔵する。

ユニット鉄筋を貯蔵するにあたっては、ごみ、土、油などが付着しないように、直接地上に置くことは避け、かつ、そり、溶接点のはずれなどが生じないように、適切な受け材を用いることとする。

積み上げ高さは、ユニット鉄筋が安定している高さまでとし、また取扱い易さの点から、およそ1.5mまでとするのが望ましい。

ユニット鉄筋の取扱いにあたっては、ぶつけたり、衝撃を与えることのないように注意する。

また、貯蔵が長期におよぶ場合には、雨露、潮風などにより錆が生じることのないように配慮する。

(3) 施 工

ユニット鉄筋を組み立てるにあたり、クレーンでユニット鉄筋の吊り点を吊って所定の位置に設置する。吊り上げ時にユニット鉄筋に過大な力がかかることの無いように、適切な吊り上げ用ビームを準備することが望ましい。吊り点の強度が、ユニット鉄筋を支えるのに十分でない場合は、増筋などで補強するか、吊り点の位置を増加させるかなどの対策をとる必要がある。なお、吊り点の溶接に欠陥があり、吊り上げ時に溶接が外れた場合でも、ユニット鉄筋が落下するのを防ぐために、吊り点として、一番端の溶接点を選んではいならない。クレーンで設置されたユニット鉄筋は、時には許容誤差内におさまるように人力で微調整しなければならない場合もある。このような際、ユニット鉄筋の重量が60kg程度以下であれば作業は容易である。

II 資 料 編

◆ 施工新技術特集 ◆

ユニット鉄筋の導入による施工合理化技術 — 点溶接および全数継手の影響の検討 —

河野 広隆* 森 濱 和 正**

1. まえがき

鉄筋コンクリート構造物を建設するまでには、コンクリートの製造、運搬、打込み・締固め、表面仕上げ、養生に加え、鉄筋工、型枠・支保工といった多くの工程があり、それぞれに多くの熟練工を必要としているため省力化が急務となっている。現在、コンクリートの製造の工程ではオペレータが一人で操作できるまでに自動化されていたり、打込み・締固めの工程では締固め要員が必要なくなるような高流動コンクリートが開発されるなど、それぞれの工程ごとに新しい技術が開発されつつある。しかし、鉄筋工については、作業が細かく複雑であり、現行の基準類は熟練工による作業を前提にしているため省力化技術が遅れている。鉄筋工の省力化のひとつにユニット鉄筋の使用が考えられる。ユニット鉄筋とは、工場などであらかじめ単位鉄筋を製作しておき、それを現場で組み立てる工法である。この工法により、現場の熟練工を大幅に削減し、しかも精度の高い鉄筋が組み立てられる。

一方、この工法を採用するにあたって二つの重要な問題がある。一点は、製作時の問題である。ユニット鉄筋は、組立時に結節点に大きな荷重がかかるため従来の結束以上に緊結する必要があるが、また合理化のため点溶接が欠かせないが、現行基準では厳しい制限が設けられている。二点目は、現場組立時の継手の問題である。ユニット鉄筋は、製作の容易さからもち網状のものが想定されるが、それを現場で組み立てる場合継手が同一断面に集中することになる。これをここでは「全数継手」と呼ぶことにするが、これについても現行基準では非常に厳しい制限が設けられており、設計上の検討が必要である。そのため、どのようにすればユニット鉄筋が実用化できるかを検討したものである。

2. 点溶接鉄筋の強度実験

2.1 点溶接の問題点、検討課題

鉄筋の点溶接は、鉄筋の材質を害し、特に疲労強度を著しく低下させること、さびの発生を促すことから、基準類に禁止あるいはきびしい制限規定があり、あまり使われていない。しかし、溶接による組立ては、強固で組立て精度向上につながり、鉄筋工の不足などに伴う鉄筋加工・組立ての自動化、機械化、ユニット鉄筋化の際には不可欠の技術と考えられる。これまでの試験から溶接した鉄筋では、静的引張強度はほとんど問題ないが、疲労強度は溶接してない場合の 50% 程度も低下することがわかっている¹⁾。

ユニット鉄筋には施工時にさまざまな荷重がかかるため溶接部自体の強度も把握しておく必要があるが、それについてのデータは皆無であるため、ここでは点溶接した鉄筋の静的引張試験と溶接部自体の強度試験を実施した。

2.2 実験概要

使用した鉄筋は、JIS A 3112 に適合したものであり、SD 345 の D 25, 19, 16, 13 と D 295 の D 25, 22, 19, 16, 13 である。点溶接は、JIS Z 3211 のアーケ溶接により、各径の鉄筋に配力筋に相当する鉄筋 D 13 を溶接した。溶接の程度は、高熱による鉄筋の材質の変化をできるだけ避けるため、鉄筋が固定できる範囲でできるだけ短時間とした。

強度試験は、静的引張試験と、図-1 のように施

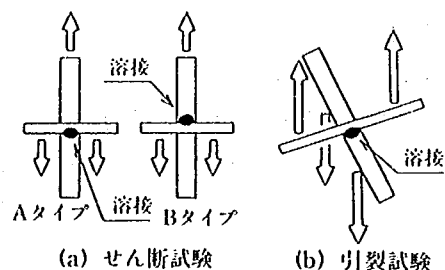


図-1 溶接部の強度試験方法

Man-power-saving Construction Method of RC Structures Using Prefabricated Reinforcement
— Studies on Effects of Spot Welding and Splices Gathered at a Cross Section —

工時に作用することが想定されるせん断試験と引裂試験を行った。

2.3 実験結果

2.3.1 静的引張強度試験

引張試験から得られた降伏点、引張強さ、伸びの結果を図-2に示す。各種類3本ずつ試験したうちSD345のD13、D16とSD295のD16、D22、D25の1本ずつが溶接位置で破断したが、そのほかは溶接位置以外で破断し、いずれの場合にも母材との違いはほとんどなく、強度的には問題ない。

2.3.2 溶接部の強度試験

溶接部のせん断、引裂試験の結果を破断面積と破断荷重の関係で示すと図-3のようであった。

せん断試験のBタイプは純粋な引張に近い荷重作用になるため、破断面積と荷重はほぼ比例関係にある。Y切片をゼロとして回帰式を求め、次式を得た。

$$Y = 38.7X \quad (r = 0.95) \dots\dots\dots(1)$$

荷重方向に対し溶接部に作用する引張力は45度に傾いていると仮定すると、引張強度は回帰係数から56 kgf/mm²となる。この値は鉄筋の引張強度程度であり、通常溶接部分から破断しないことからほぼ妥当な値と考えられる。

他の2タイプは、曲げモーメントの影響も大きく作用しているものと考えられる。そこで、溶接部の終局時の応力状態を図-4のように仮定すると、溶接部の抵抗モーメント M_{cal} と作用モーメント $M (= P \cdot \phi/2)$ が求められる。ここで、溶接部の終局引張、圧縮応力 σ_u は、(1)式を用いた。モーメント比 M_{cal}/M と破断面の断面二次モーメントとの関係を図-5に示す。断面二次モーメントが小さいほど大きな(安全側の)値となっているものの、断面二次モーメントが20 mm⁴以上であればモーメント比はほぼ1であり、この計算により溶接部自体の強度の近似値は得られるものと考えられる。

2.4 まとめ

なお、疲労強度の低下については、点溶接の使用箇所を制限するとか、新たな溶接法を検討したい。

溶接鉄筋の引張試験、溶接自体の強度試験を行い、以下のことがわかった。

- ① 溶接鉄筋の静的引張強度は溶接部で破断しても降伏点、引張強さとも母材の強度と比べ遜色なく、強度的には問題ない。

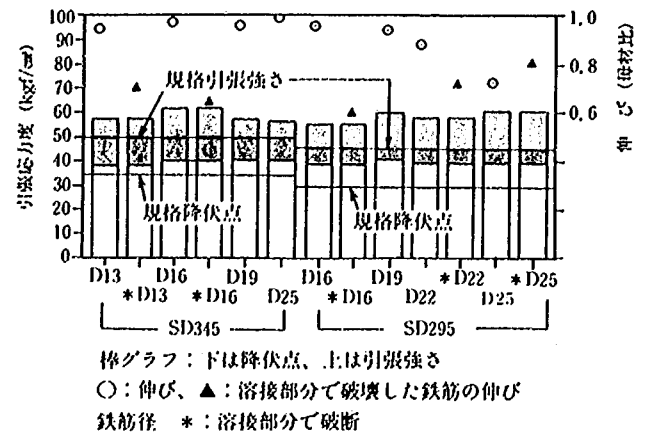


図-2 点溶接鉄筋の降伏点、引張強さ、伸び

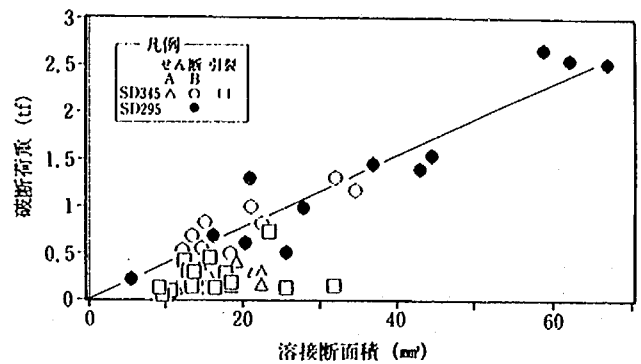


図-3 溶接部破断面積と破断荷重の関係

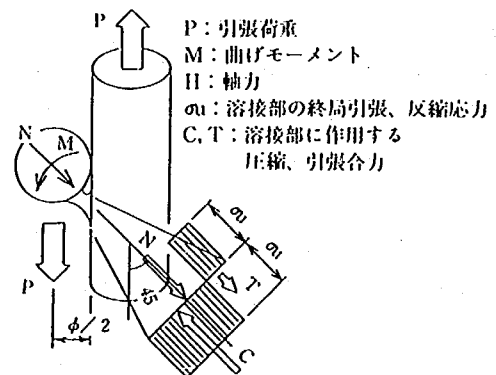


図-4 強度試験時の荷重作用状態(せん断A)と溶接部の応力分布の仮定

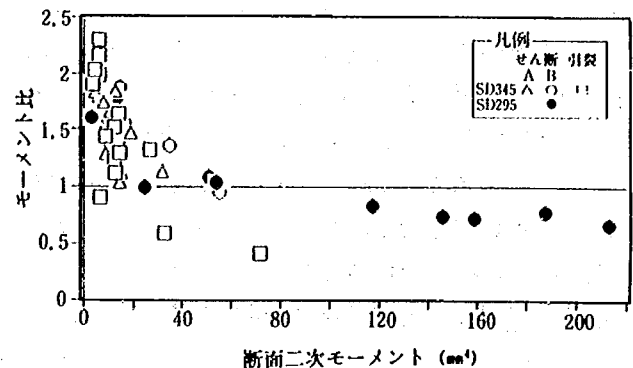


図-5 断面二次モーメントとモーメント比

② 溶接部自体の強度は、溶接の程度と荷重作用を考慮し、終局状態を仮定することにより近似値が計算できる。

③ ②より、施工時に作用する荷重の大きさ、方向が既知であれば、必要な溶接耐力、断面を求めることができる。

3. 全数継手載荷実験

3.1 全数継手の問題点、検討課題

全数継手は、①破壊時には急激にコンクリートの割裂破壊が生じること、②ひび割れ幅が大きくなり耐久性に問題を生じやすいこと、などのため現行基準ではきびしく制限されている。しかし、継手方法を工夫することにより継手強度を向上させることができるため、全数継手を使用する構造物の種類や、継手位置を限定することなどにより全数継手を使用することも可能と考えられる。

ここで対象とする構造物は、よう壁など繰返し荷重があまり作用しない幅の広い構造物であり、そのときに図-6のような継手方法を想定し、段落し位置での全数継手強度に関する載荷実験を行った。図-6の(b)は段落し位置に継手を設けた場合、(c)は上側の鉄筋量が少なくなった部分を細径の鉄筋にして下側の鉄筋本数と同じにした場合(以下、異種径の継手と呼ぶ)、(d)は太径の鉄筋を使用して施工性を高めるため鉄筋間隔を大きくした場合の異種径の継手である。載荷実験は、図-6のような継手方法について純曲げモーメント区間での継手強度に関する実験と、曲げモーメントと同時にせん断力が作用した場合の載荷実験を行った。

3.2 継手強度に関する実験

3.2.1 実験概要

(1) 供試体の種類

供試体の種類は表-1の16体である。

Aシリーズは、全数継手の基本的な性状を調べるため、継手長および継手部分の横補強量を変化させた。継手長は、通常の設計に必要な長さ程度32φ(60cm)と、通常の設計では安全が見込まれて

いるためそれより短い21φ(40cm)の2種類とした。横補強鉄筋量は、「補強1」は通常の補強量程度に対し、「補強0」は補強なし、「補強2」は通常の2倍量である。

Bシリーズは段落し部の全数継手、Cシリーズは異種径の継手、Dシリーズは太径の鉄筋の異種径の継手である。

供試体の形状は図-7のとおりであり、モーメント一定の区間に継手を設けた。横補強筋の形状は、よう壁のように幅の広い構造物を想定していることからスターラップのように折り曲げずまっすぐに伸ばしたままとした。

(2) 実験方法

載荷パターンは、鉄筋の許容応力度、許容応力度の5割増し、公称降伏点で10回ずつ繰返し、その後は変位を漸増させる繰返し載荷を行った。載

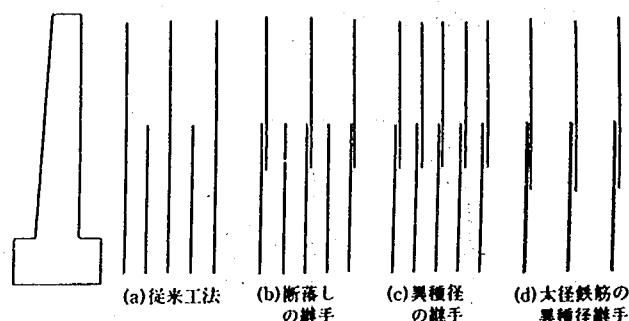


図-6 想定される全数継手のパターン

表-1 供試体の種類

シリーズ	A	B	C	D
継手種類	同一径の継手	段落し部の継手	異種径の継手	太径鉄筋の異種径の継手
鉄筋量 鉄筋間隔	6-D19, ctc100	6-D19, ctc100 3-D19, ctc200	6-D19+6-D16, ctc100 6-D19+6-D13, ctc100	4-D25, ctc150
継手なし	①	①	—	①
継手長 横補強**	継手長 40 cm (21φ) 補強 0 ② 1 ③④* 2 ⑤	継手長 40 cm (21φ) 補強1	補強1 鉄筋組合せ D19-D19 21φ ①(A-③) D19-D16 25φ ② D19-D13 31φ ③	継手長 80 cm 補強 (32φ) 0 ② 1 ③ 2 ④

①：供試体番号

* 主鉄筋と横補強鉄筋の結束は点溶接、ただし、A-④は結束線による通常の結束

** 横補強鉄筋量、0：横補強鉄筋なし、1：通常量 (D13@200)、2：通常量の2倍 (D13@100)

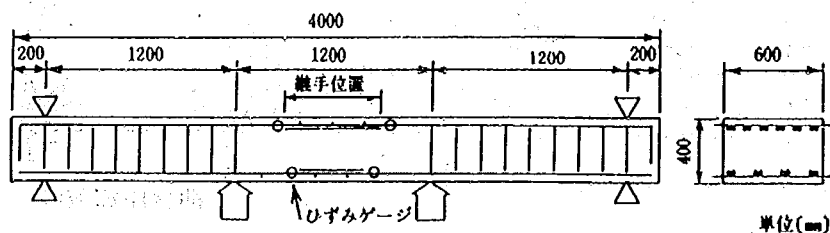


図-7 供試体の形状

荷時には、重ね継手両端部の鉄筋ひずみ、たわみ、ひび割れ幅を測定した。

3.2.2 実験結果

(1) ひび割れ・破壊パターン

ひび割れ・破壊状況の例を図-8に示す。今回の実験では、継手のない供試体および異種径の継手(C-2, C-3)は曲げ圧縮破壊であったが、その他の継手を有する供試体はすべての鉄筋に沿った付着割裂のまろい破壊(図-9)であった。

(2) 荷重とたわみの関係

継手長、継手方法、横補強量ごとの荷重とはり中央のたわみ包絡曲線を図-10に示す。

(a)図より、継手長は長いほうが耐力は増加した。継手長 21 ϕ の場合、鉄筋降伏時の 70% 程度、32 ϕ の場合は 80% 程度で割裂破壊を生じた。太径の鉄筋を使用し、鉄筋間隔を大きくした場合も 32 ϕ で 80% 程度であった (b)図。

(c)図より、段落し部の継手は、継手長 21 ϕ でも

実降伏荷重までは耐力を確保できたが、それ以後の変形性は低下した。

(d)図より、異種径の継手の場合、細径の鉄筋になるほど変形性は改善された。

(c)と(d)図を比較すると、段落しのように 1 本おきの継手とするよりは細径の鉄筋で全数の継手を設けるほうが継手耐力、変形性には有利である。

(e)図より、横補強筋の効果は、A シリーズの場合継手長 21 ϕ , 32 ϕ ともその効果は明確ではなかったものの、D シリーズの場合は補強量が増加するほど耐力、変形性は向上した。

(3) 荷重とひび割れ幅の関係

各繰返し荷重段階ごとの 10 回繰返し後のひび割れ幅を図-11に示す。ひび割れ幅の計算値は、土木学会「コンクリート標準示方書」によった。B シリーズはほぼ計算値どおりであったのに対し、他の継手の場合かなり大きくなっている。

(4) 付着強度

鉄筋継手の両端のひずみゲージから得られた最大ひずみから求めた付着強度とオランガン式⁴⁾から求めた付着割裂強度の比を図-12に示す。鉄筋降伏前にすべて割裂破壊した A シリーズは、いずれも解析値を上回っており、オランガン式は安全側の付着割裂強度が求められるものと考えられる。

3.3 せん断力の影響に関する実験

3.3.1 実験概要

前節の結果より、全数継手を設けるにあたっては異種径の継手が有効であることがわかった。ここでは、どの位置に継手を設ければいいかを検討した。そのため、「段落し位置の鉄筋の引張応力度が許容応力度の 1/2 以下、

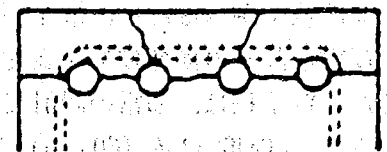


図-9 付着割裂パターン

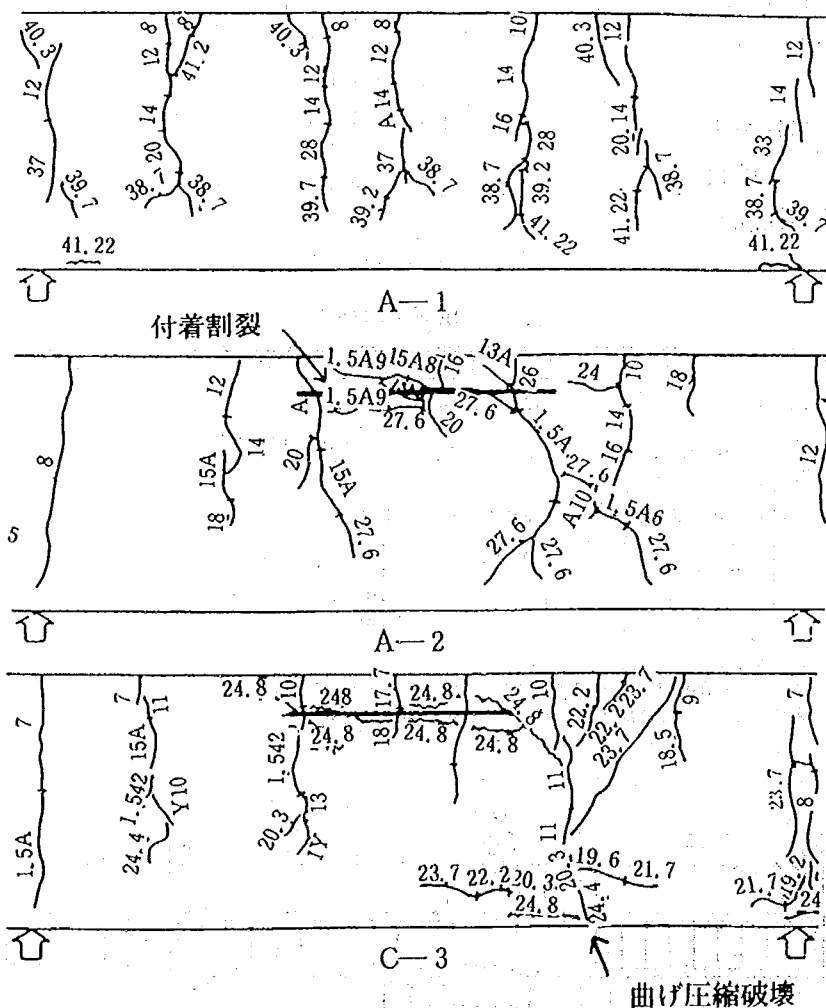


図-8 ひび割れ破壊状況

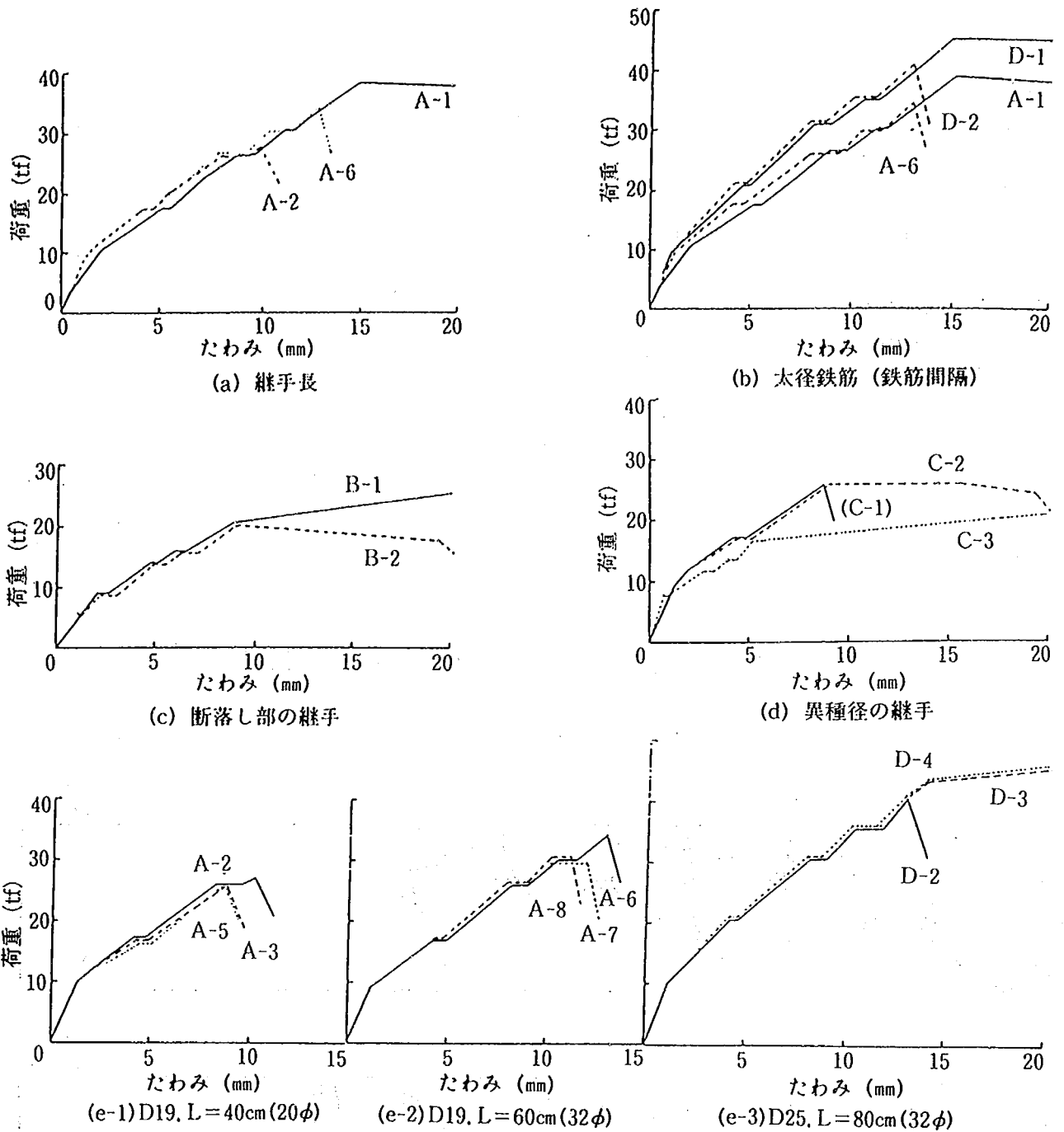


図-10 荷重—たわみ包絡線

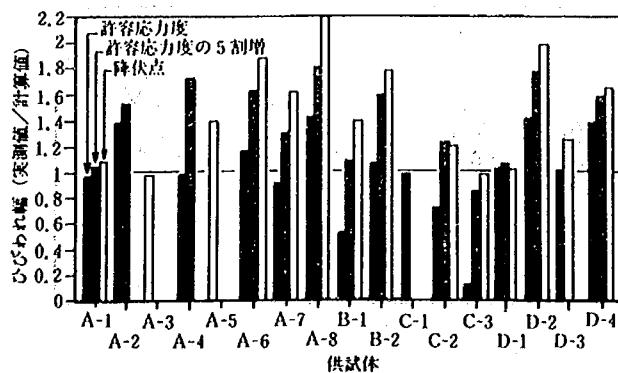


図-11 ひび割れ幅

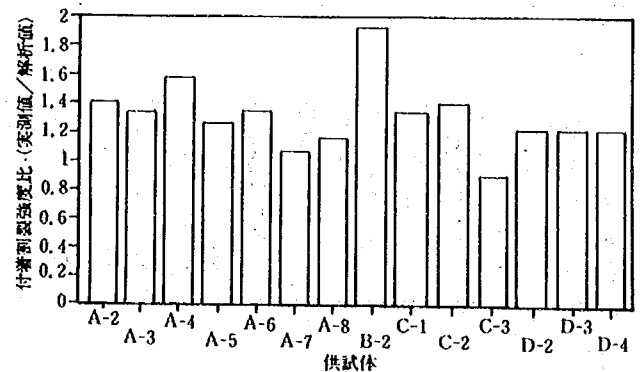


図-12 付着割裂強度

かつ、平均せん断応力度が許容せん断応力度の2/3以下」という段落し規定をもとに、それより危険側に継手位置、継手長を変化させた載荷実験を行った。また、せん断力の影響についても検討を行った。供試体の種類および形状は表-2 および図-13 のとおりである。

載荷方法および計測は、前節と同様に行った。

3.3.2 実験結果

(1) ひび割れ・破壊状況

ひび割れ・破壊の例を図-14 に示す。破壊は、供試体Hが鉄筋降伏後しばらくして継手末端（曲げモーメントの小さい側）付近からせん断（段落

表-2 供試体の種類

供試体の種類		鉄筋組合せ		縦手長 cm(φ)	縦手位置*	
		太径 (p.)	細径 (p.)		縦手先端	縦手末端
A	縦手なし 縦手位置	4-D22(0.79%)	—	—	—	—
B		4-D22(0.79%)	4-D16(0.40%)	60(27)	7/12σ _{s1}	2/3σ _{s2}
C				40(19)	7/12σ _{s1}	5/6σ _{s2}
D				40(19)	1/2σ _{s1}	2/3σ _{s2}
E				60(27)	2/3σ _{s1}	5/6σ _{s2}
F				60(27)	1/2σ _{s1}	1/2σ _{s2}
G	鉄筋量	鉄筋本数	3-D22(0.59%) 3-D16(0.30%)	60(27)	7/12σ _{s1}	2/3σ _{s2}
H			6-D22(1.19%) 6-D16(0.61%)			
I		鉄筋径	4-D19(0.58%) 4-D16(0.40%)	60(31)		
J			4-D25(1.03%) 4-D19(0.58%)	60(24)		

* 継手先端は、モーメントの大きい方(載荷点側)、継手末端はモーメントの小さい方(支点側)である。

σ_{11} は載荷点側の鉄筋（太径）の引張応力、 σ_{12} は支点側の鉄筋の引張応力である。

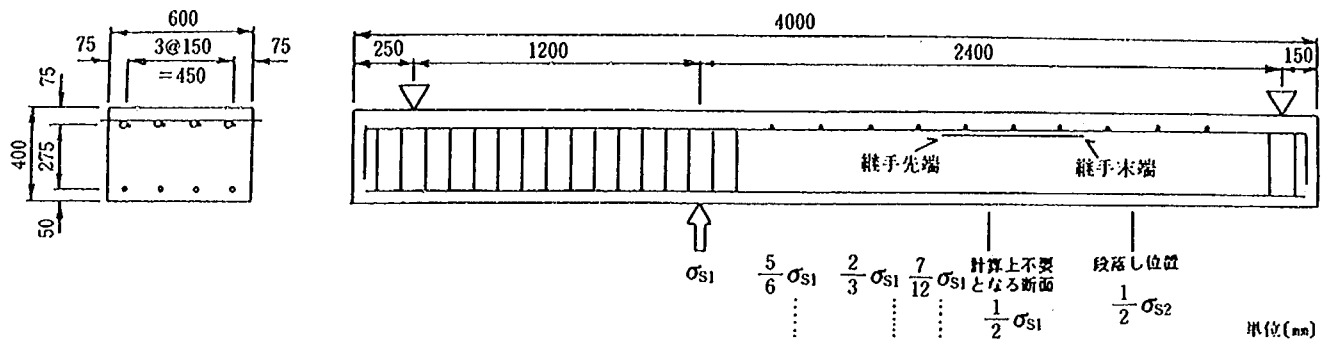


図-13 供試体の形状・寸法

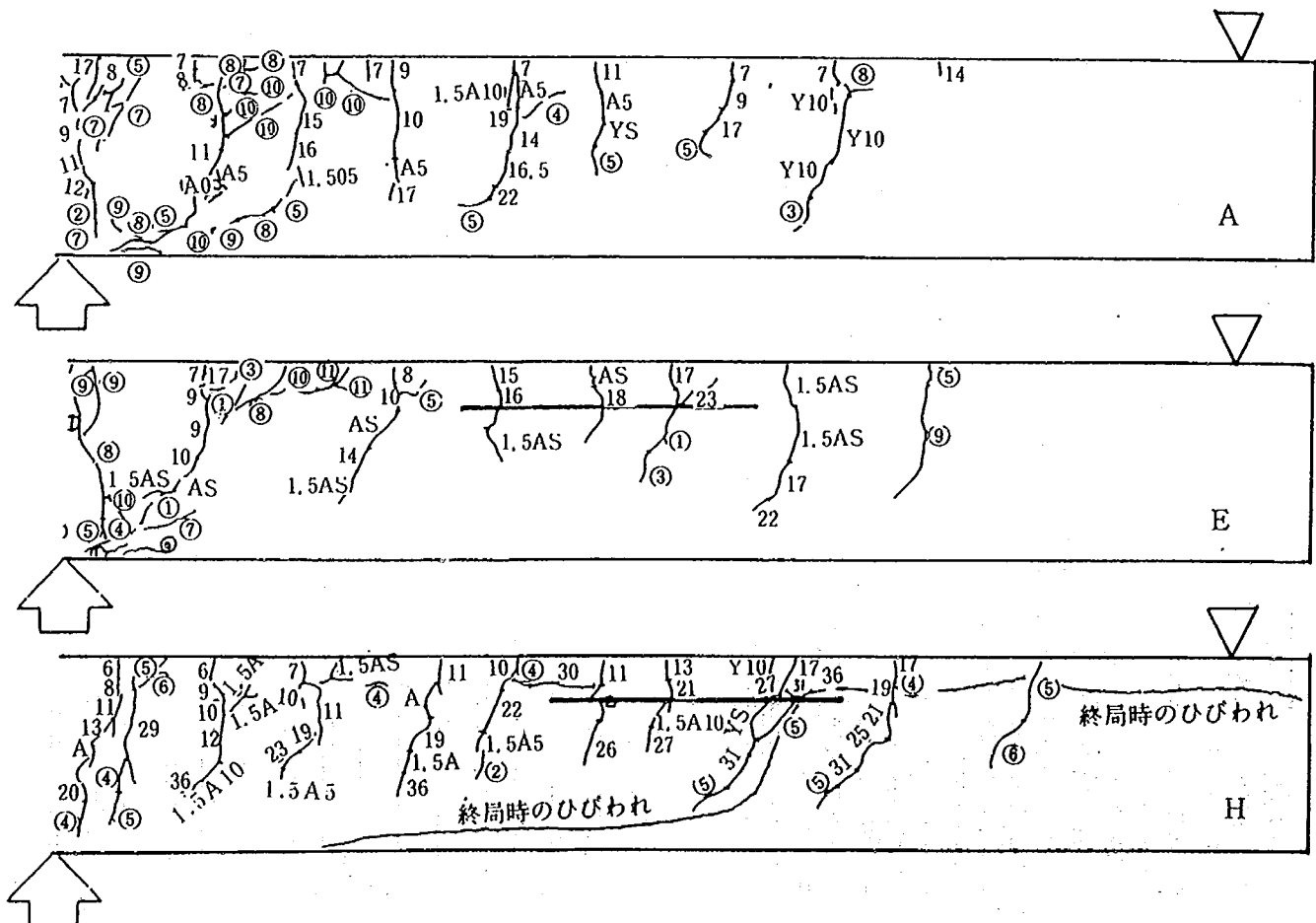


図-14 ひび割れ・破壊状況

し) 破壊を起こした以外はすべて曲げ圧縮破壊であり、付着割裂破壊は生じなかった。

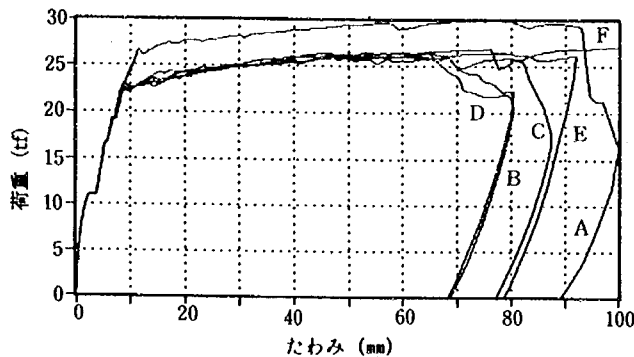
(2) セン断耐力

せん断耐力の実測値と計算値を表-3に示す。計算値は、終局耐力(示方書)および許容耐力の計算結果である。

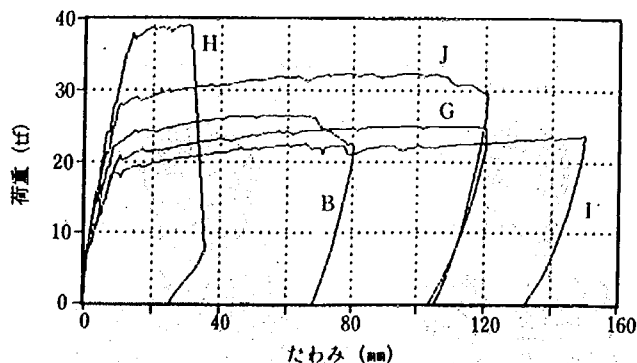
鉄筋降伏時の実測の耐力は終局耐力の50~70%程度、最大荷重時でも60~80%程度であった。許容耐力で比較すると、それぞれ80~130%程度、100~170%程度であり、段落し規定よりきびしい条件のもとでも許容耐力は確保されている。

表-3 セン断耐力

供試体	計算値 (tf)		実測値 (tf)		実測値/計算値			
	終局	許容	降伏	最大	終局		許容	
					降伏	最大	降伏	最大
A	13.5	7.8	8.3	10.0	0.613	0.738	1.064	1.282
B	14.4	8.8	7.3	8.8	0.508	0.613	0.831	1.002
C	14.4	8.8	7.7	8.7	0.536	0.606	0.877	0.991
D	14.4	8.8	7.4	8.7	0.515	0.606	0.843	0.991
E	14.4	8.8	7.6	8.8	0.529	0.613	0.866	1.002
F	14.4	8.8	7.7	9.0	0.536	0.627	0.877	1.025
G	12.3	7.8	6.3	8.3	0.512	0.674	0.807	1.064
H	15.5	7.8	10.5	13.0	0.677	0.839	1.346	1.666
I	12.2	7.8	6.0	7.9	0.490	0.645	0.769	1.012
J	14.8	7.8	9.0	10.8	0.607	0.723	1.153	1.384



(a) 継手位置、継手長の影響



(b) セン断力の影響

図-15 荷重たわみ曲線

供試体 II の段落し破壊荷重は、終局耐力の84%で生じたが、許容耐力では約1.7倍で生じており、継手位置は段落し規定の「許容せん断応力度の2/3以下」を満足するように設計すれば、許容に対して2倍以上のせん断耐力を確保することができることになる。

(3) たわみ

荷重-たわみ曲線を図-15に示す。段落し破壊したH以外はすべて大きな曲げ変形を示しており、今回の供試体諸元であれば耐力、変形性に問題はない。

(4) ひび割れ幅

ひび割れ幅の関係を図-16に示す。供試体J以外の供試体のひび割れ幅は、計算値程度であった。繰返しの影響も、供試体Aとほぼ同じく増加量が計算値の10~20%程度であり問題ないと考えられる。供試体Jは、計算値の1.6倍になっており、太径の鉄筋を使ったり鉄筋間隔が大きくなる場合はひび割れ幅の増加にともなう耐久性に注意する必要がある。

(5) 付着強度

最大荷重時の継手先端(モーメントの大きい側)の鉄筋のひずみから求めた引張力とオランガン式²⁾から求めた付着耐力の関係を図-17に示す。

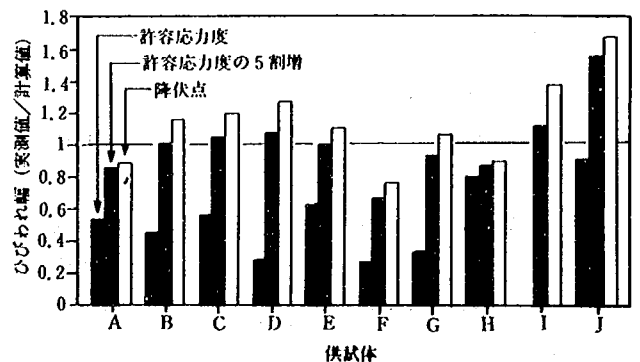


図-16 ひび割れ幅

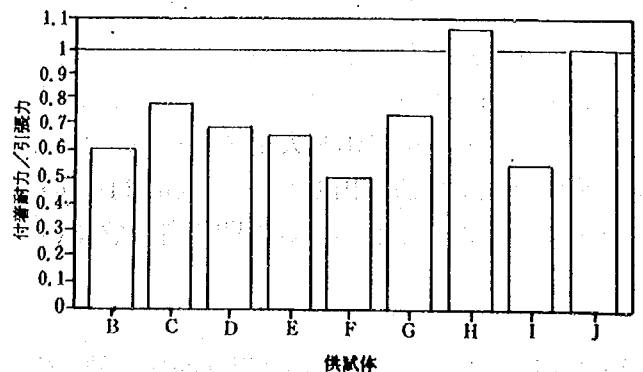


図-17 最大荷重時の付着耐力引張力比

この程度の付着強度であれば、全数継手とした場合も継手耐力に問題はない。

3.4 まとめ

全数継手の載荷実験の結果、以下のことがわかった。

- ① 継手長を長くすることにより継手耐力は向上する。
- ② 異種径の継手にすることにより、継手耐力および変形性は大幅に向上する。
- ③ 横補強筋の効果については、今回の実験のように隅角部を有する横補強筋がない場合、その継手強度の改善効果は明確ではない。
- ④ 付着強度の計算は、オランガン式が安全側の結果を与える。
- ⑤ 継手位置は、段落しの規定にしたがえば耐力、変形性などの問題はない。

以上の結果をもとに、段落し位置の主鉄筋の全数継手の設計方法を以下のように提案した³⁾。

適用範囲: 繰返し荷重が少なく曲げ破壊する部材

継手方法: 異種径の重ね継手の採用

継手位置: 段落し規定に準拠

継手長: 基本定着長の1.3倍⁴⁾

4. あとがき

ユニット鉄筋の実用化に向け、点溶接および全数継手の実験を行い、点溶接は多くの繰返し荷重が作用しない場合は十分使用可能であることがわかった。全数継手については設計方法を提案した。これらの成果をもとに昨年度、関東地建管内で擁壁にユニット鉄筋を使用した試験施工を実施し、省力化効果の高いことがわかった⁴⁾。

今後、点溶接の品質、施工管理および全数継手の設計のマニュアル化を図る予定である。

最後に、本実験は建設省総プロ「建設技術における施工新技術の開発」の鉄筋コンクリートワーキング（リーダー: 檜貝山梨大学教授）のもとで、土木研究所と先端建設技術センター、民間11社の共同研究で行った。これら多数の関係者に感謝いたします。

注) 実験の結果から各種鉄筋の組み合わせを考慮して試算した結果、安全率を2程度見込むためには通常の継手長の1.3倍必要となる。詳細については、文献3)を参照頂きたい。

参考文献

- 1) 例えば、小林ほか: コンクリート用鉄筋に関する検討, 土木技術資料, Vol.30, No.12, 1988, 12
- 2) C.Orangun, J. O. Jirusa, and J. E. Breen: A Re-evaluation of Test on Development Length and Splice, ACI Journal, 1977, 3
- 3) 土木研究所, 先端建設技術センター, 民間11社: 自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する共同研究報告書(1), 第89号, 1993.3
- 4) 河野, 森濱, 山本, 村椿: 省人化を目指した鉄筋コンクリート構造物の試験施工, 土木技術資料, Vol.35, No.5, 1993.5

河野 広隆*



建設省土木研究所
材料施工部
コンクリート研究室長
Hirotaka KAWANO

森濱 和正**



同 コンクリート研究室
研究員
Kazumasa MORIHAMA

<特集：コンクリートの耐久性技術の開発・報告>

コンクリート用鉄筋に関する検討

小林 茂敏* 丹 野 弘** 高橋 弘人***

1 はじめに

コンクリート用鉄筋は、鉄筋コンクリート構造物の補強材として重要なものであり、その耐久性や強度特性、使用法などの研究を行っている。それらのうちから実務上参考になると思われるいくつかのものについての研究結果を報告する。

2 塗装鉄筋の耐久性

2.1 目 的

エポキシ樹脂塗装鉄筋(以下、塗装鉄筋と記す)の塗膜の品質および力学的特性については、本誌 Vol. 25, No. 7¹⁾ および Vol. 26, No. 1²⁾ においてすでに報告しているが塗装鉄筋の耐久性についての実験的な確認は課題として残されていた。また国内の他機関からも、長期の耐久性についてはあまり報告されていない。本章は、昭和56年度から実施していた塗装鉄筋の暴露試験の結果の一部を報告するものである。

2.2 飛末帯における暴露試験

2.2.1 試験の概要

コンクリート構造物においては、水分の存在下で海水中の塩化物の蓄積と大気中の酸素の供給が行われる飛末帯が最も塩害環境として苛酷であると考えられたため、茨城県鹿島港港内の飛末帯に属する高さに設置した台に、コンクリート供試体を取り付け暴露試験を行った。

4種類の塗装鉄筋ならびに無塗装鉄筋を用いた供試体を作製し、引張荷重をかけひびわれを大きく開いた状態で鉄筋両端を固定した状態で試験に供した。

2.2.2 使用材料

鉄筋は SD30-D19 の横フシおよび斜めフシ異形鉄筋を用いた(機械的性質は表-1)。塗装および塗膜は、土木研究所化学研究室が行った塗膜に関する試験結果³⁾に基づき、表-2の品質のものを試験に供した。コンクリート材料としては、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は富士川産川砂、粗骨材は最大寸法 20mm の富士川産川砂利、混和剤は市販の天然樹脂酸塩系 AE 剤を用いた。配合は、スランプ 8 ± 2 cm、空気量 $4.5 \pm 0.5\%$ で、

水セメント比は圧縮強度 300 kgf/cm^2 を目標として 60% に定めた。

2.2.3 供試体

試験には $10 \times 10 \times 100$ cm 角柱の中心に長さ 130 cm の鉄筋(D19)をかぶり 4 cm に埋め込んだ供試体を用いた。供試体の塗膜の種類を表-3に示す。供試体は鉄筋を水平に保ち、コンクリートを鉄筋直角方向から打込んだ。供試体は暴露前にひびわれを導入するため、鉄筋応力度 $f_s = 1800 \text{ kgf/cm}^2$ まで静的载荷を行ったのち、上、下限値を 1800, 200 kgf/cm^2 にとった 7Hz 正弦波により、30万回の疲労载荷を行った。供試体はその後、鉄筋引張応力度が 2000 kgf/cm^2 となるようセンターホールジャッキで引張り、チットで供試体支持台に固定した。

2.2.4 試験結果

試験の結果、次のようなことが明らかとなった。

1) 無塗装鉄筋供試体は、2.5年ですでに供試体端部よりひびわれ(鉄筋沿いのひびわれ)の発生がみられ、5.5年では縦ひびわれの進行が顕著になっていた。一方塗装鉄筋供試体は、当初入れた横ひびわれ(鉄筋直角方向のひびわれ)の幅の拡大は若干あるが、縦ひびわれはまったく発生していなかった。

2) 塗装鉄筋の自然電位分布は、大部分 2.5年に比べ

表-1 鉄筋の機械的性質

鉄筋の種類		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)
	フシ形状			
SD30-D19	横フシ	34.8	54.6	20
	斜フシ	38.5	59.4	21

表-2 塗膜測定結果

塗料の種類	硬 度		付着性 (基板目 試験)	膜 厚 (μm)		ピンホール数 1 m 当り (平均)
	20℃	0℃		目標	実 測	
A	H	2 H	100/100	150	130~200	3~14 (6.0)
				250	220~390	3~13 (5.0)
B	2 H	3 H	"	150	170~190	0~多 (多)
C	H	H	"	150	150~190	0~41 (14.6)
D	3 H	3 H	"	150	170~200	多 (多)

表-3 供試体塗膜種類

塗膜種類	無塗装	A	B	C	D
目標膜厚 (μm)	—	150, 250 (塗膜傷あり)	150	150	150

* 建建省土木研究所地質化学部コンクリート研究室長

** " " コンクリート研究室研究員

*** " " コンクリート研究室

Shigetoshi KOBAYASHI, Hiroshi TANNO and Hiroto TAKAHASHI: Some Experimental Studies about Reinforcing Bars

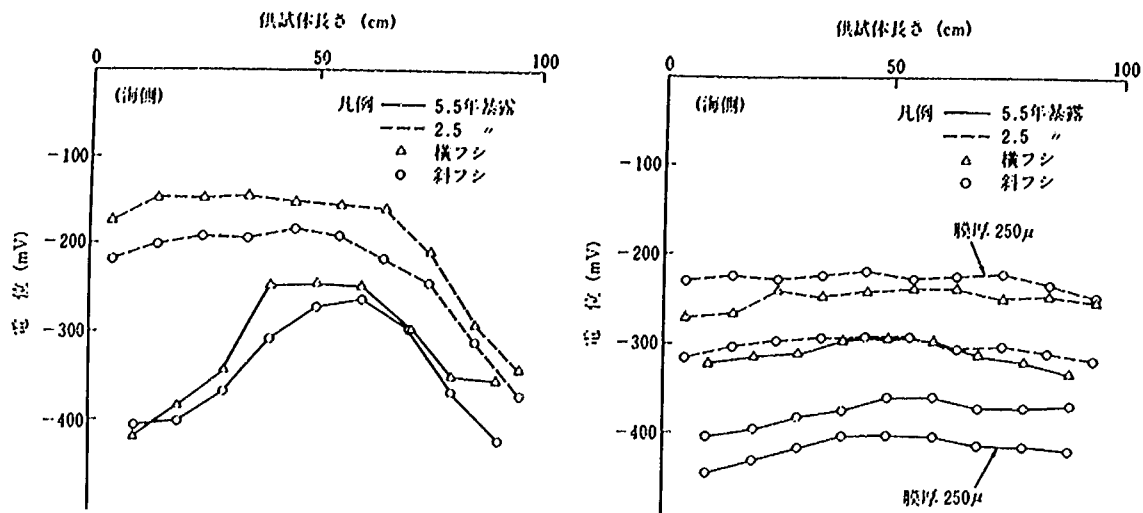


図-1 自然電位測定結果

表-4 鉄筋の腐食長さ率

供試体		腐食度別腐食長さ率(%)			腐食長さ率(%)	暴露年	
		A	B	C		2.5	2.5
無塗装	Y 1	57	10	0	67	○	
	Y 2	22	3	65	100		○
	N 1	90	10	0	100	○	
	N 2	49	4	47	100		○

※腐食度別腐食長さ率：各腐食度部分が占める割合

ただし、腐食度A：ごく表面的な腐食

B：浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食

C：断面欠損の明らかな著しい腐食

腐食長さ率：各腐食度別腐食長さ率の合計

て5.5年では、供試体全長にわたり(一)の方向に増加していた。これに対して、無塗装鉄筋では供試体端部において(一)の方向に増加していた。(図-1)

3) 供試体を解体し鉄筋の腐食度を調査した結果、無塗装鉄筋のみ腐食が認められ、5.5年は2.5年に比べて腐食が増加(表-4)していた。また、自然電位分布で予想されたように端部ほど腐食が著しかった。

4) 中性化深さは、ひびわれ部では鉄筋位置まで達していたが、それ以外の部分では最大 1.5mm でほとんど進行していなかった。

5) コンクリート中の塩化物量は図-2に示すように、5.5年で最大 2.0% (Cl⁻, コンクリート重量換算) に達し2.5年と比べて約3倍に増加していた。

2.3 海洋上における暴露試験

2.3.1 試験の概要

塗装鉄筋を実際の構造物に使用するにあたっては施工時に塗膜が損傷して鉄筋素地が露出した場合、あるいはコンクリートにひびわれや打継目が存在する場合など、鉄筋の腐食が助長される環境下での防食効果を確認する必要がある。このため、これらの条件を考慮して作製し

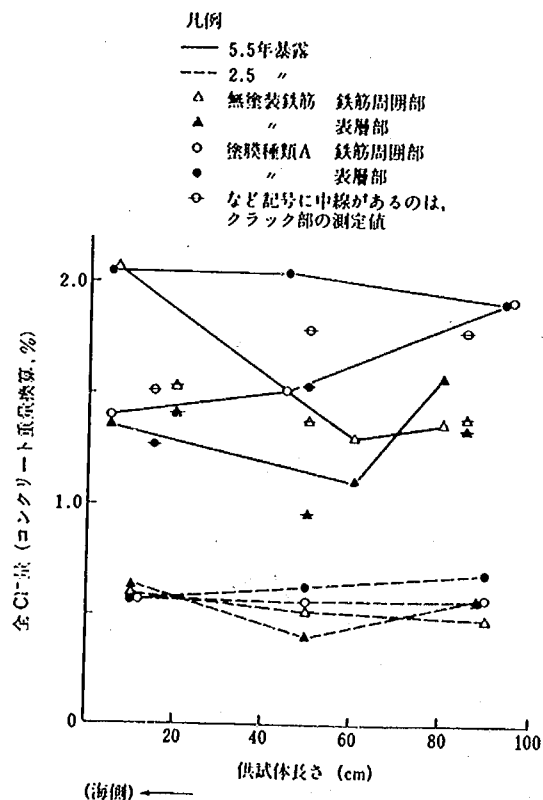


図-2 コンクリート中の塩化物量測定結果

た供試体(本誌 Vol. 26, No. 1²⁾ 参照)を、静岡県大井川沖合いに建設された「海洋技術総合研究施設」(文献4)を参照)の海面上約9mの高さのデッキに1984年6月に設置し、暴露試験に供している。

本節では、これまで行った外観観察を中心とした2度の定期調査1985年6月(1年暴露), 1986年7月(2年暴露)の結果について報告する。

2.3.2 試験結果

試験結果をまとめると次のようになる。

1) 外観観察の結果からはコンクリートの浮き・はく

表-5 塗膜の損傷程度と平均ひびわれ幅の関係

供試体	塗膜損傷なし			スリット部のみ損傷			(スリット部+中間地点)損傷			全 面 損 傷			T 桁供試体	
	A	B	平均	A	B	平均	A	B	平均	A	B	平均	①	②
初期値	0.14	0.10	0.12	0.10	0.10	0.10	0.08	0.11	0.10	0.09	0.10	0.10	0.16	0.11
1年後	0.09	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10	0.07	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.13	0.10
2年後	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.11	0.10	0.08	0.07

* ①は無塗装鉄筋を使用

②は塗装鉄筋を使用

離などの異状は認められず錆汁も観察されなかった。

2) ひびわれ幅の極端な拡大や、主鉄筋方向の塩害特有の縦ひびわれの発生は認められなかった(表-5参照)。

3) 海上における塗装鉄筋の防食効果は、1), 2) の結果からも十分期待できると考えられる。ただし、最終的な確認は今後の解体調査の結果を待って行う予定である。

2.4 考 察

これまでの試験結果により、無塗装鉄筋に比較して塗装鉄筋が十分な防食効果を有することが確認できた。また、現在継続中の海洋上暴露試験については、結果が得られ次第報告する予定であるが、今回の結果と同様の結論が得られるものと予想される。

また、日本道路協会「道路橋の塩害対策指針」(付属資料一塗装鉄筋設計・施工指針)においては、施工時の小さなきずについても補修塗りを行うことになっているが、部分的な塗膜のきずではほとんど鉄筋全体の防食性能に影響を与えないことがわかった。今回の結果ならびに今にまでの塗装鉄筋を使用した結果から、塗装鉄筋をコンクリート構造物に使用することは、構造物の耐久性を確保する上で極めて有効な方法であると言える。

3 点溶接した鉄筋の力学特性

3.1 目 的

鉄筋コンクリート構造物内部の、それぞれの鉄筋に十分なかぶり厚を確保するためには、鉄筋の組立精度を向上させる必要がある。鉄筋同士点溶接により固定する方法は、比較的容易に行えること、結束が強固となることなどの利点があり、従来から有効であると考えられていた。一方、鉄筋を点溶接した場合、溶接部の疲労に対する抵抗性が低下するとされていたことから、これまで一般の鉄筋コンクリート構造物においては、使用できないことになっていた。しかしながら、昭和61年制定土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕(以下、標準示方書と記す)において、点溶接を使用しても良いことに規定が緩和された。

本章は、鉄筋の結束方法として点溶接を使用した場合の強度特性および、上記鉄筋の設計疲労強度の算定式の適合条件について、実験的に検討した結果を報告するものである。

3.2 試験材料

点溶接した鉄筋の強度特性について調査するため、以下に示す材料および試験片仕様を用いた。

鉄筋は、JIS A 3112 の SD30 の横フシ電炉品 (D25, 19, 13, 10) および斜めフシ高炉品 (D19) を (D10は配力筋として) 使用した。点溶接は、JIS Z 3211 のアーケ溶接によって行った。点溶接を行った鉄筋の静的引張強度および疲労強度試験には、図-3の試験片Aを、溶接点自体の強度試験には、試験片Bを用いた。また、鉄筋つかみ部からの疲労破断が問題となるため、河井ら⁵⁾の文献を参考につかみ部をアルミパイプとエポキシ樹脂で補強した。

3.3 試験結果

3.3.1 静的引張強度試験結果

点溶接を行った鉄筋(試験片Aによる)および、比較のため行った溶接なしの鉄筋の静的引張強度試験の結果を表-6に示す。

表-6 使用した鋼材の強度

(単位: kgf/cm²)

使用鉄筋		溶 接 な し		溶接あり(試験片A)	
		降伏強度	破断強度	降伏強度	破断強度
電 炉 ¹⁾	SD30-D13	3,720	5,417	3,704	5,422
	SD30-D19	3,805	5,401	3,669	5,243
	SD30-D25	3,526	5,354	3,546	5,375
高 炉 ¹⁾	SD30-D19	3,758	5,745	3,790	5,761

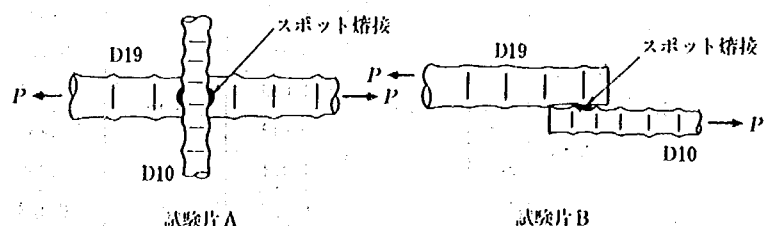


図-3 供試体形状

この表から明らかなように、
 溶接を行った鉄筋は、溶接部を持
 たない鉄筋とほぼ同じ降伏お
 よび破断強度を有しており、溶
 接を行った鉄筋は破断がいずれ
 も溶接位置以外の場所で生じた
 ことから、点溶接が鉄筋の静的
 引張強度に及ぼす影響はほとん
 どないと考えられる。また、溶
 接点自体の引張強度試験結果か
 ら、電炉鋼、高炉鋼とも溶接部は
 平均で 1.2t・f 程度の荷重を伝
 達できることが明らかとなった。

3.3.2 疲労強度試験結果

試験片 A を用いた疲労試験結
 果を鉄筋径ごとにとりまとめ
 図-4, 5 に示す。図中に示した式
 は、溶接あり・なしごとに繰返し
 回数および応力度振幅（試験
 時最大応力度－試験時最小応力
 度）の対数値から求めた 1 次回帰
 式である。また、これらの回帰
 式と標準示方書に示された鉄筋
 の設計疲労強度 f_{srd} (kgf/mm²)
 の算定式、

$$f_{srd} = 1900 \frac{10^{\alpha}}{N^k} \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}} \right) / \gamma_s$$

$$(\text{kgf/cm}^2) \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 σ_{sp} ：永久荷重による鋼材の応力

f_{ud} ：度鉄筋の引張強度

γ_s ：鉄筋の材料係数（一般に 1.0）

N ：疲労寿命

における α, k の推奨値を比較した結果を、表-7 に示す。

ここで α および k の推奨値は標準示方書に示された式

(2) および (3) によった。

$$\alpha = k_0 (0.82 - 0.003 \phi) \dots \dots \dots (2)$$

ここに ϕ ：鉄筋直径

k_0 ：ふしの根本に円弧のない場合で

ふしと鉄筋軸とのなす角度が 60° 以上 → 1.00

同 60° 未満 → 1.05

ふしの根本に円弧が設けられたもの → 1.10

（ここでは $k_0 = 1.10$ ）

$$k = 0.12 \dots \dots \dots (3)$$

表-7 土木学会コンクリート標準示方書（標準示方書）設計疲労強度算定式と実験結果の関係

鉄筋種類			α		k		疲労強度 f_{rd} ($N=200$ 万回) (kgf/cm ²)		
径	材質	溶接	標準示方書 (2) 式	実験結果 回帰式	標準示方書 (3) 式	実験結果 回帰式	標準示方書 (1) 式	実験結果 回帰式	実験結果/(1)式 (%)
13	電炉鋼	なし	0.859	0.507	0.12	0.057	2,248	2,494	111
		あり		1.570		0.281		1,118	50
19	電炉鋼	なし	0.839	0.619		0.078	2,148	2,380	111
		あり		1.639		0.284		1,255	58
	高炉鋼	なし		0.942		0.139		2,066	96
		あり		1.454		0.250		1,342	62
25	電炉鋼	なし	0.820	0.922		0.133	2,052	2,153	105
		あり		0.835		0.143		1,524	74

これらの試験結果をとりまとめると次のようになる。

1) 実験より得られた点溶接を行った鉄筋の疲労強度 (200 万回疲労寿命における応力度振幅) は、最低でも式

(1) から求める設計疲労強度の 50% は確保されていた。また母鉄筋の鉄筋径が大きくなるに従い、点溶接した鉄筋の疲労強度の式 (1) から求まる設計疲労強度に対する割合が増加し、点溶接が疲労強度の低下に及ぼす影響が小さくなる傾向がうかがえた。

2) D19 の電炉鉄筋について、点溶接が疲労強度に及ぼす影響を比較した結果、両者の疲労強度の低下割合は、ほとんど変わらなかった。

3) 各鉄筋径とも、溶接なし鉄筋の疲労強度試験結果は式 (1) から求まる値にほぼ一致していた。実験結果より得られた 200 万回疲労寿命における疲労強度は、式 (1) の値の 96~111 (%) の範囲であった。

3.4 まとめ

本試験により次のような結論を得ることができた。

1) 疲労寿命を 200 万回に設定した場合、標準示方書において試験をしない場合に溶接時の設計疲労強度を母材の 50% とする規定は、試験したすべての鉄筋で疲労強度が母材の算定式から求まる疲労強度の 50% 以上あったことから、ほぼ妥当であると考えられる。

2) 標準示方書設計疲労強度算定式は、試験した鉄筋径の範囲ではほぼ妥当であると考えられる。

4 電炉鋼製横ふし太径異形鉄筋の疲労特性

4.1 目的

現在、コンクリート用異形鉄筋には、高炉品と、電炉品がある。使用頻度の高い径の鉄筋には、価格の面から電炉品が使用される割合が高いが、D51 のような太径鉄筋の場合にはメーカーの製造設備や圧接性の良さを配慮したため高炉品だけが生産されてきた。しかしながら、近年製造技術の向上により電炉鋼で太径鉄筋を製造するメーカーが現れてきた。

鉄筋の静的強度は、鉄筋の材質や形状の影響をあまり受けないが、疲労強度は鉄筋表面の形状や鉄筋径に影響されることが多くの研究者によって指摘されており、標準示方書にも、これらの特性を考慮した鉄筋の疲労強度算定式 (式 (1)) が規定されている。

本章では、電炉品の太径鉄筋の疲労特性を明らかにするため、電炉品の太径異形鉄筋の疲労特性に関する試験結果を取りまとめるとともに式 (1) の適合性等について考察した結果について報告する。

4.2 供試体および試験方法

表-8 D51 鉄筋の形状

供試体名	呼び名	材質	ふしの間隔 P (mm)	ふしの高さ A (mm)	ふしの隙間 2B (mm)	角度 θ	円弧
A, C	SD35-D51	電炉 ¹⁾	15.09	3.0	10.0	90°	付
B, F	SD35-D51	高炉 ¹⁾	30.30	4.7	21.2	>60°	付

試験には、以下に示す鉄筋および試験片仕様を用いた。

電炉鋼太径異形鉄筋には、形状・寸法を表-8 (上段) に示す JIS A 3122 の熱間圧延異形棒鋼 3 種に適合する電炉鋼 SD35-D51 異形鉄筋を用いた。その形状は、ひびわれ特性改善のためふしの間隔を 15 mm と比較的狭く取り、疲労特性改善のためふしの立ち上がり部に大きな半径の円弧が付けられている。比較用の高炉鋼異形鉄筋には、形状・寸法を表-8 (下段) に示す高炉鋼 SD35-D51 異形鉄筋 (鉄筋軸から 60° 以上の角度を有する斜めふしで、疲労特性改善のためふしの立ち上がり部に円弧が付けられている) を用いた。また、鉄筋径の違いを検討するため SD35-D41 mm, SD30-D25 mm, -D19 mm の電炉鋼横ふし異形鉄筋、19 mm の高炉鋼斜めふし異形鉄筋を用いた。さらに、材質の違いを検討するため SD30-D51 電炉鋼異形鉄筋も用いた。

また 2 章同様、鉄筋つかみ部は、(例えば D51 では、内径 70 mm, 長さ 300 mm, 厚さ 5 mm の) アルミをかぶせ、隙間をエポキシ樹脂で充填し補強した⁵⁾。

供試体の長さは 1500 mm, つかみ部を除いた純試験区間長 900 mm とした。試験は、動的載荷能力 200 t のサーボ電気油圧式疲労試験機を用いて、600 cpm の繰返し速度で行った。ただし、一部の普通径の鉄筋は、載荷能力 50 t の同形式疲労試験機を用いた。

4.3 試験結果

各鉄筋の静的引張試験結果を表-9 に示す。

各鉄筋の疲労試験の結果を、太径鉄筋 (D51 および D41) は図-6 に、その他の鉄筋については図-7 に示す。

太径鉄筋のいくつかはつかみ部で疲労破壊したが、疲労強度がそのために著しく低く現われたと思われるものは解析の対象から除外した。なお、太径鉄筋で低応力高サイクル時に破断したものは、いずれもつかみ部以外の点で破断していたことから、つかみ部破断の結果への影響は非常に小さいと考えられる。

表-9 使用鉄筋の機械的性質

供試体名	呼び名	材質	公称断面積 (cm ²)	降伏点 (kgf/mm ²)	引張り強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
A, C	SD35-D51	電炉 ¹⁾	20.27	39.0	57.0	21.9
B, F	SD35-D51	高炉 ¹⁾	20.27	39.4	56.1	26.0
E	SD30-D51	電炉 ¹⁾	20.27	35.0	54.0	31.4
D	SD35-D41	電炉 ¹⁾	13.40	41.6	61.8	23.2
G	SD30-D25	電炉 ¹⁾	5.07	35.3	53.8	25.0
H	SD30-D19	電炉 ¹⁾	2.87	38.1	54.0	23.4
I	SD30-D19	高炉 ¹⁾	2.87	35.0	53.5	27.9

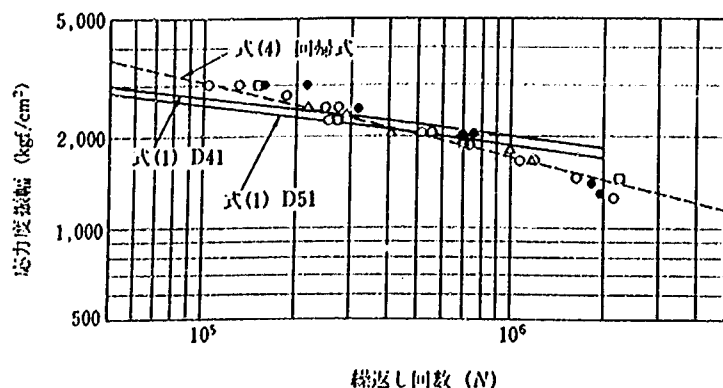


図-6 太径鉄筋の疲労試験結果

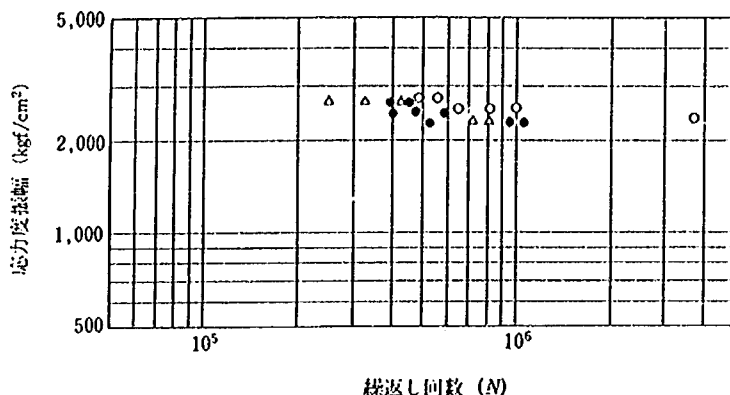


図-7 その他の鉄筋の疲労試験結果

疲労強度（応力度振幅） f_{srd} (kgf/cm²) が、式(4)の形に回帰することができると仮定し、各鉄筋の係数 α' , k の値を実験値から式(5)の一次回帰式により求めた。その結果を表-10に示す。

$$f_{srd} = (1 - \sigma_{sp}/f_{ud}) 10^{\alpha} / N^k \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\log(f_{srd}) = -k \log N + \{\log(1 - \sigma_{sp}/f_{ud}) + \alpha\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

（式(4)の両辺の対数をとる）

ただし、 σ_{sp} ：最小応力(kgf/mm²)

f_{ud} ：鉄筋強度(kgf/mm²)

N ：繰返し回数

4.4 まとめ

本試験により次のような結論を得ることができた。

表-10 各鉄筋種類ごとの疲労強度回帰式係数

鉄筋種類	$(1 - \sigma_m/f_u)$	α'	α	k
A, C	0.965	4.81	1.53	0.261
B, F	0.964	4.79	1.51	0.257
E	0.963	4.86	1.58	0.266
D	0.968	5.07	1.79	0.301
G	0.946	4.13	0.85	0.135
H	0.944	4.16	0.88	0.122
I	0.944	4.23	0.95	0.140

ただし、 α' ：式(5)から求めた式(4)における係数

α ： α' を式(1)にあてはめた時の係数

k ：式(1)、(4)とも共通

1) 高炉品と電炉品の疲労強度について

鉄筋種類ごとに求めた同帰式の係数 α' , k , 200万回疲労強度を比較した結果、検討に用いた電炉鋼、高炉鋼 D51 鉄筋の疲労特性に差はないと考えられる。また、D19 鉄筋の 200 万回疲労強度は、電炉鋼 2.30×10^3 kgf/cm²、高炉鋼 2.08×10^3 kgf/cm² であり、高炉鋼の方が約 200 kgf/cm² 程小さく推定された。ただし高炉鋼は、ふしの根本に円弧がなく、表-10に示すように 200 万回疲労強度も約 200 kgf/cm² 小さく算定されることから、この鉄筋径においても、電炉品と高炉品の疲労特性に違いがあるとはいえない。

2) 太径鉄筋への標準示

方書疲労強度式の適用について

表-11において実験回帰式および土木学会から求めた 200 万回疲労強度を比較した結果、今回の太径鉄筋は、電炉鋼、高炉鋼とも、すべて標準示方書設計疲労強度式（式(1)）により求めた値と比べてかなり小さく、疲労特性が異なることが明らかとなった。

3) その他の疲労強度提案式の適合性について

また、2) 以外の疲労強度に関する提案式として文献 6) に記述された式(6)、(7)をあげることができる。

$\log N < 6$ のとき

$$f_{srd} = \left(1600 - \frac{\sigma_{sp}}{3} \right) 10^{0.2(6 - \log N)} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \dots (6)$$

表-11 200 万回疲労強度実験結果

鉄筋種類			200 万回疲労強度 (10 ³ kgf/cm ²)		備考
記号	呼び名	材質	実験回帰式	土木学会式	
A, C	SD35-D51	電炉	1.41	1.74	0.734
B, F	SD35-D51	高炉	1.42	1.74	0.734
E	SD30-D51	電炉	1.48	1.74	0.734
D	SD35-D41	電炉	1.45	1.89	0.767
G	SD30-D25	電炉	2.07	2.08	0.820
H	SD30-D19	電炉	2.30	2.17	0.839
I	SD30-D19	高炉	2.08	1.99	0.801

ただし、土木学会式は式(1)

α は式(1)における係数

$\log N \geq 6$ のとき

$$f_{srd} = \left(1600 - \frac{\sigma_{sp}}{3} \right) 10^{-0.1(10 \log N - 6)} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \dots (7)$$

式(7)より、200万回疲労強度は $1.43 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ と算定でき、今回の4種類の太径鉄筋の実験結果はほぼこの値と一致していた。

4) 異なった実験値の現れる理由について

異なった実験値が現れる理由としては、試験法の違いをあげることができる。式(1)の根拠に用いられた文献(7)の実験では、JISの鋼材の静的強度の試験に準じて試験体の測長が径の4~5倍であったと考えられる。

これに対して、小さな疲労強度算定式である式(6)、(7)の根拠に用いられた実験では、試験体の長さが1mを超える供試体であったと考えられる。また、この他、コンクリート供試体で試験するもの(文献8))や、電磁共振式試験機によるもの(文献9))も、小さな疲労強度試験結果が得られている。

これら理由としては、低応力高サイクル時の破断の特徴が、供試体に生じている小さな傷などの不測の欠陥部が破壊のきっかけとなるため、寸法効果(長い供試体ほど強度に影響する弱点部を拾う確率が高くなる事象)により、疲労強度が低下するものと考えられる。

5) 疲労強度式に対する提言

少ない種類の鉄筋に対する実験結果なので断言はできないが、土木学会標準示方書疲労強度式の太径鉄筋への適用は、見直す必要があると考えられる。また太径鉄筋について疲労強度式が見直されるまでは、原則に従い実験で疲労強度を求めるか、式(6)、(7)に示す疲労強度式によるのが良いと考えられる。

なお、本節は、建設省土木研究所と普通鋼電炉工業会および(財)土木研究センターが共同研究として行った疲労実験のデータをもとに、筆者らが独自に検討を加えたものである。最後に鉄筋の入手、諸特性の調査について助力をいただいた(株)伊藤製作所 加藤晴久、(株)神

戸製鋼所 山本孝夫の両氏に深謝致します。

参考文献

- 1) 小林茂敏：防食鉄筋開発の現状、土木技術資料, Vol. 25, No. 7, 土木研究センター, pp. 27~30, 1983年7月
- 2) 小林茂敏, 高橋弘人, 森濱和正：塗装鉄筋を使用したコンクリート部材の力学的特性, 土木技術資料, Vol. 26, No. 1, 土木研究センター, pp. 10~15, 1984年1月
- 3) 片脇 清, 守屋 進, 深田幾夫：エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する基礎的研究, コンクリート工学年次講演会講演論文集, 第1回, 日本コンクリート工学協会, pp. 49~52, 1979年
- 4) 橋本 宏, 森 芳徳：海洋技術総合研究施設の紹介, 土木技術資料, Vol. 25, No. 7, 土木研究センター, pp. 31~36, 1983年7月
- 5) 河合 紘茲, 堺 毅：異形鉄筋の引張疲労試験に於ける握み部補強方法に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 第39回, 第5部, 土木学会, pp. 69~70, 1984年10月
- 6) 土木学会：コンクリート構造物の限界状態設計法指針(案), コンクリートライブラリー, 第48号, 土木学会, pp. 18~19, 1981年4月
- 7) 二羽淳一郎, 前田詔一, 岡村 甫：異形鉄筋の疲労強度算定式, 土木学会論文集, 第354号, V-2, 土木学会, pp. 73~79, 1985年2月
- 8) 国分正胤, 岡村 甫：太径異形鉄筋の使用に関する研究, 土木学会論文集, 第202号, 土木学会, pp. 103~113, 1972年6月
- 9) 土木学会：太径鉄筋のD51を用いる鉄筋コンクリート構造物の設計指針, コンクリートライブラリー, 第43号, 土木学会, 1977年8月

森濱和正*¹・河野 広隆*²・加藤俊二*³

要旨：鉄筋コンクリート工事の合理化・省力化を図るためにユニット鉄筋の利用が考えられている。ユニット鉄筋は、鉄筋同志を緊結する必要があることから溶接が不可欠である。ところが溶接は、熱等の影響により疲労強度が低下するなどの理由で、その利用が厳しく制限されている。そのため、本論文ではスポット溶接した鉄筋の各種強度試験を行い、溶接が鉄筋の強度に与える影響を調査し、その適用条件を検討したものである。

キーワード：ユニット鉄筋、スポット溶接、引張強度、疲労強度、せん断強さ、引裂き強さ、曲げ性状

1. まえがき

鉄筋コンクリート工事の合理化・省力化が急務となっているが、鉄筋工の省力化の一つにユニット鉄筋の使用が考えられる。ここで、ユニット鉄筋とは、工場などであらかじめある単位で製作した鉄筋網であり、それを現場で組み立てることにより現場の省力化を図るものである。この工法を採用するにあたり、ユニット鉄筋製作の合理化、特に溶接の合理化が必要であり、その方法の一つにスポット溶接（電気抵抗溶接）の使用が考えられる。スポット溶接は、短時間で溶接できるため熱の影響が少ないといわれていること、同時に多点溶接できること、そのため大きな設備を必要とすることから工場製作とならざるを得ないが、そのことで品質管理が行いやすくなることなどからユ

ニット鉄筋の製作に適していると考えられる。そこで、スポット溶接した鉄筋の各種強度試験を行い、その適用性を検討した。

表-1 実験項目と測定項目

実験項目	試験方法	測定項目	試験本数
引張試験	JIS Z 2241	降伏点、引張強さ、伸び、絞り、破断位置	5本
せん断試験	JIS G 3551	せん断強さ、破断面積	5本
引裂き試験		引裂き強さ、破断面積	5本
曲げ試験	JIS Z 2248	荷重、ストローク（曲げ角度）、観察 溶接部分が、引張および圧縮について実施	各3本
疲労試験		疲労強度	6本以上

2. 実験概要

実験に使用した鉄筋の種類は、電炉品で、D10～D16はS D 295、D19～D38（ただしD29、D35は除く）はS D 345である。実験項目は表-1、試験片の鉄筋の組合せ・形状・溶接点の目標せん断強さは表-2のとおりである。目標せん断強さは、溶接の強度が鉄筋の強度に与える影響を

表-2 試験片

鉄筋* 組合せ	試験片	
	形状	目標せん断強さ (tf)
D13-D10 D16-D10	十字	1, 2, 3
D19-D13 D22-D16	網	1, 2, 3
D25-D13 D32-D16 D38-D19	十字	2.5, 4.0, 5.5, 8.0

*左の太径が実験対象、ただし網については両方試験した。

*1 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室研究員(正会員)

*2 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室室長(正会員)

*3 建設省土木研究所材料施工部コンクリート研究室

検討するため、設定した溶接強度であり、ユニット鉄筋の最大重量を運送上の制約から、細径は1～2 t、太径は3～4 tと想定して定めた。鉄筋網は、太径鉄筋を長手に配置した網目400×350mmの格子で、網の大きさは4×2 mであり、それを十字に切り出し試験片とした。

表-3 引張試験結果

試験片種類	鉄筋径	破断位置	本数	降伏点 kgf/cm ²	引張強さ		伸び %	絞り	
					kgf/cm ²	母材比		%	母材比
母材	網	D 1 3	5	3805	5504		30.0	60.5	
		D 1 6	5	3917	5664		26.8	54.9	
		D 1 9	5	4395	6544		24.9	52.9	
		D 2 2	5	4544	6667		23.1	44.1	
	十字	D 1 3	5	4059	5960		25.7	54.9	
		D 1 6	5	4052	5943		27.1	54.9	
		D 2 5	5	4498	6435		30.8	54.6	
		D 3 2	5	4291	6087		27.7	51.9	
スポット溶接	網	D 1 3 溶接外	9	3885	5639	1.021	16.5	55.0	0.908
		溶接部	6	3871	5407	0.982	11.1	10.3	0.170
		D 1 6 溶接外	12	3598	5234	0.918	23.1	60.4	1.100
		溶接部	3	3604	5247	0.926	12.5	22.4	0.408
		D 1 9 溶接外	15	4560	6683	1.021	20.7	52.6	0.996
		D 2 2 溶接外	12	4635	6776	1.016	19.4	42.2	0.957
		溶接部	3	4641	6677	1.001	11.4	11.9	0.270
		D 3 2 溶接外	15	3902	5610	0.961	24.5	59.6	1.086
	十字	D 1 6 溶接外	15	3938	5551	0.934	24.4	56.2	1.022
		D 2 5 溶接外	20	4217	6261	0.973	21.7	48.3	0.883
		D 3 2 溶接外	19	4273	5794	0.952	23.6	53.1	1.023
		溶接部	1	4283	6077	0.998	13.9	18.0	0.347
		D 3 8 溶接外	11	3941	5948	0.967	21.4	36.8	1.022
		溶接部	9	3937	6022	0.979	16.1	17.4	0.482

3. 引張試験

引張試験は、JIS Z 2211（金属材料引張試験方法）に準拠した。鉄筋径ごとに破断位置が溶接部とそれ以外の場合に分類して整理した結果を表-3に示す。破断位置で「溶接部」とは、溶接位置とそこから10mm以内で破断した場合であり、それ以外で破断した場合を「溶接外」とした。

溶接した鉄筋の降伏点と引張強さに対する母材との比を図-1に示す。溶接部で破断した場合（黒）とそれ以外（白）で分けて示してある。スポット溶接した鉄筋の強度は、今回の実験では母材の92～102%程度であり、規格値は十分満足していた。溶接部から破断した場合、それ以外の場合との強度差は小さく、強度上はほとんど問題ないことから、設計に用いる引張許容応力度は現行の基準類の値を用いてもさしつかえないものと考えら

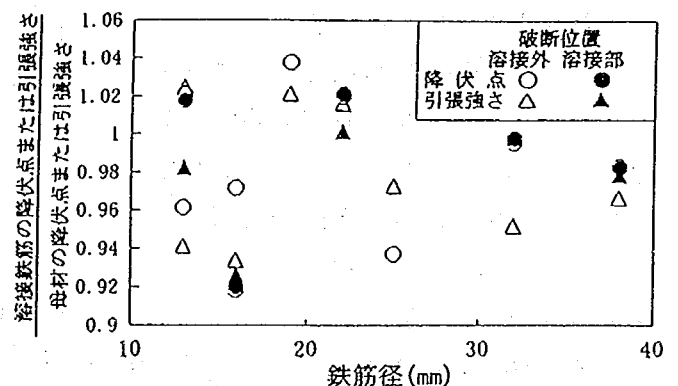


図-1 降伏点、引張強さの母材との比較

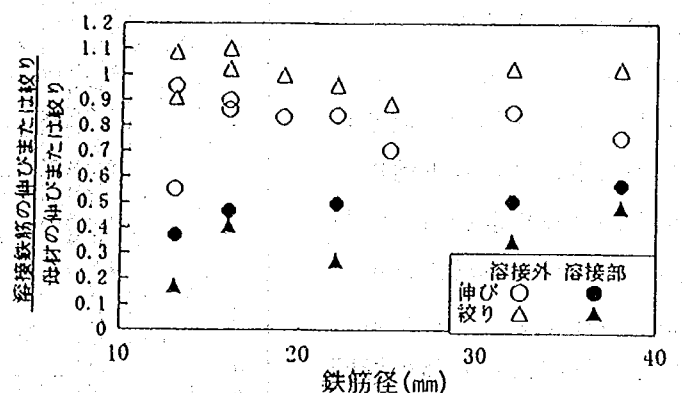


図-2 伸び、絞りの母材に対する比率

れる。しかしながら、伸び、絞りの母材に対する比では、溶接部で破断した場合はかなり小さくなっており（図-2）、伸びの規格値（D16以下は16%、D19以上は18%以上）を大きく下回ったものもある。橋脚基部などのように大変形の繰返しが考えられ、大きな伸び能力が必要な部位には点溶接を制限する必要がある。

4. 疲労試験

疲労試験は、各種類の鉄筋について下限応力を公称降伏点の2%とし、上限応力を変えた。波形はサイン波で、5~10 Hzで載荷した。

疲労試験の結果の例を図-3に示す。図中の回帰直線は、コンクリート標準示方書（土木学会、以下示方書）に示されている鉄筋の設計疲労強度算定式（学会式）で回帰した結果であり、回帰係数 α 、 k を表-4に示す。表-4には比較のためにアーク溶接の結果[1]も示した。

回帰結果と示方書の推奨値から計算した200万回疲労強度の比は、図-4に示すように溶接することにより疲労強度は低下するが、示方書に規定されている溶接した場合の疲労強度（学会式の50%）はほとんど満足している。母材の200万回疲労強度と比較すると、図-5のように鉄筋径が太くなるほど強度の比は大きくなっており、熱の影響による強度の低下は少ないことを示している。また、アーク溶接と比較した場合も、スポット溶接のほうが20%程度疲労強度が高く、スポット溶接は短時間で溶接できることから、アーク溶接よりも熱の影響が少いものと考えられる。

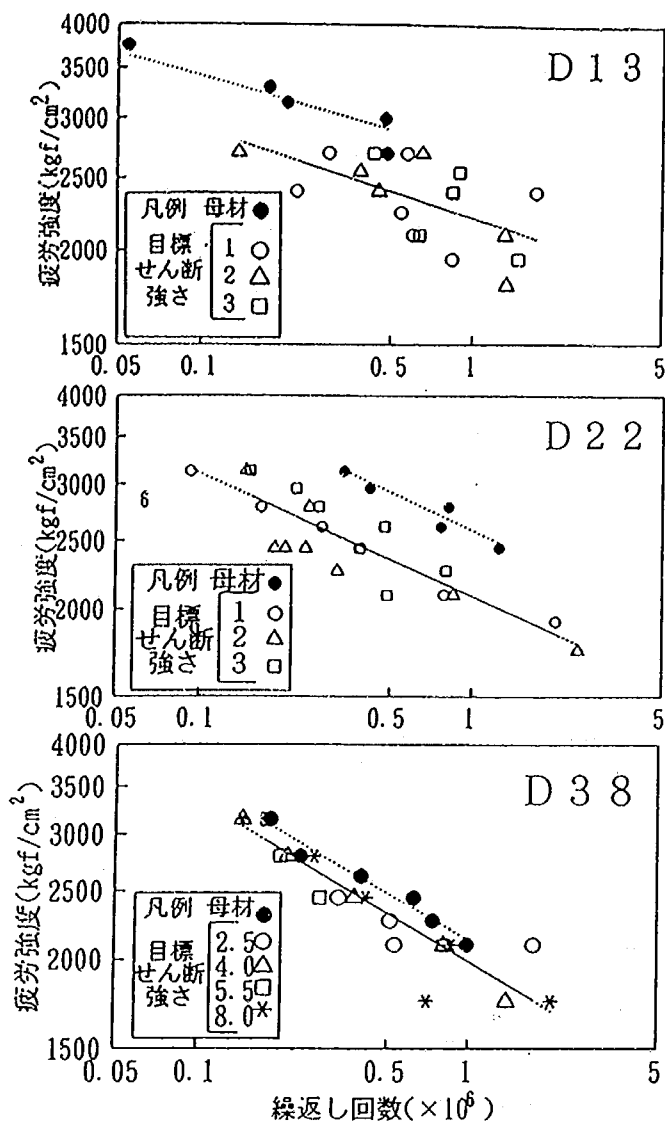


図-3 疲労試験結果

表-4 疲労試験の回帰試験結果

溶接の種類	鉄筋の種類	溶接の有無	α		k		200万回疲労強度(kgf/cm²)		
			示方書注)	実験結果回帰係数	示方書注)	実験結果回帰係数	①示方書注)	②実験結果注)	②/①母材比(%)
スポット溶接	D13	母材	0.86	0.765		0.101	2372	2521	106
		溶接全体		0.768		0.116		2042	86
	D16	母材	0.85	0.551		0.061	2322	2733	118
		溶接全体		1.560		0.249		1839	79
	D19	母材	0.84	0.538		0.057	2270	2837	125
		溶接全体		0.794		0.126		1916	84
	D22	母材	0.82	1.216		0.179	2218	2282	103
		溶接全体		1.088		0.174		1847	83
	D25	母材	0.81	1.365	0.12	0.216	2175	1903	87
		溶接全体		1.211		0.205		1554	71
	D32	母材	0.80	1.584		0.272	2058	1389	67
		溶接全体		1.372		0.247		1221	59
アーク溶接	D13	なし	0.86	0.507		0.057	2248	2494	111
		あり		1.570		0.281		1118	50
	D19	なし	0.84	0.619		0.078	2148	2380	111
		あり		1.639		0.284		1255	58
	D25	なし	0.82	0.922		0.133	2052	2153	105
		あり		0.935		0.143		1524	74

注) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編

5. せん断・引裂き試験

ユニット鉄筋の移動・組立て時やコンクリート打設時に溶接点に各種荷重が作用することから、溶接点のせん断強さや引裂き強さがユニット鉄筋の製作のときの溶接強度の指定や品質管理に重要と考えられるため、これらの実験を行った。せん断試験は、JIS G 3551（溶接金網）に規定されている溶接点せん断強さ試験に準じて行った。引裂き試験は、図-6のように溶接部分を引きはがす試験である。

試験結果を表-5、図-7および8に示す。せん断強さは、目標値に対して鉄筋径が太くなるほど大きくなる傾向にある。D22以下についてみると、D13は目標値に対して下回っているが、D16はほぼ目標値どおり、D19では目標値1および2tfではかなり上回り、D22は全体に大きく上回っている。これは、鉄筋径が太くなるほど曲率は小さくなるため大きな溶接面積が得やすくなるためと考えられる。せん断強さのばらつきの範囲は、最大値は最小値の2倍程度もの開きがあり、製作に用いるせん断強さは設計荷重を下回らないような管理が必要と考えられる。

引裂き強さも鉄筋径が太くなるほど大きくなっているが、目標せん断強さの増加に対する引裂き強さの増加はわずかであった。せん断強さに対しては概ね2/3であり、品質管理には試験の簡単なせん断強さ試験を行っておけば、引裂きのような荷重に対しても強度が推定できる。

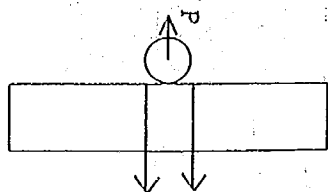


図-6 引裂き試験

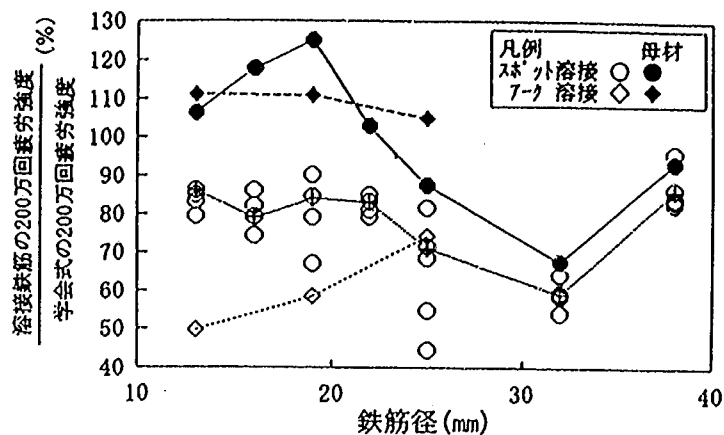


図-4 疲労強度（学会式との比較）

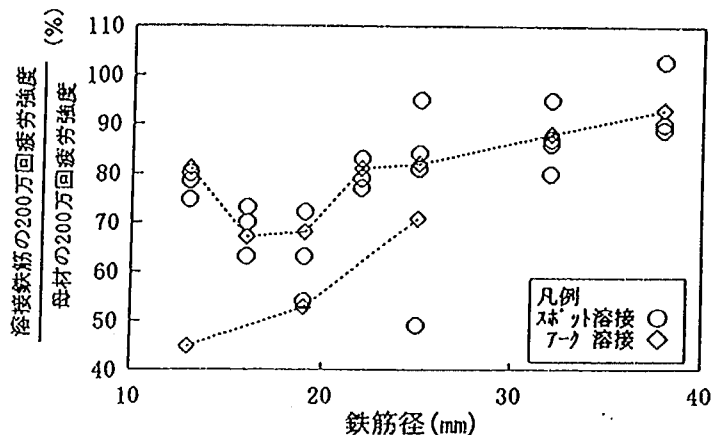


図-5 疲労強度（母材との比較）

表-5 せん断および引裂き試験結果

鉄筋 組合せ	目標せん断 強さ(tf)	せん断強さ(tf)			引裂き強さ(tf)		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
D13-D10	1.0	1.90	1.28	1.62	1.68	1.07	1.40
	2.0	2.10	1.24	1.74	1.51	1.04	1.30
	3.0	2.70	2.29	2.52	2.17	1.69	1.86
D16-D10	1.0	1.89	0.81	1.41	1.60	1.18	1.45
	2.0	1.86	1.53	1.70	1.70	1.18	1.39
	3.0	3.16	2.17	2.73	1.80	1.27	1.60
D19-D13	1.0	2.34	1.34	2.02	2.38	1.37	1.92
	2.0	4.26	2.24	3.12	2.52	1.61	2.10
	3.0	4.05	2.38	3.13	2.86	2.02	2.44
D22-D16	1.0	2.79	1.26	1.97	2.68	2.06	2.30
	2.0	4.26	3.02	3.71	3.08	2.28	2.63
	3.0	4.43	2.95	3.73	3.94	2.40	3.09
D25-D13	2.5	3.94	3.38	3.59	3.41	2.83	3.08
	4.0	4.32	3.38	4.04	3.90	2.65	3.28
	5.5	4.48	3.90	4.19	2.74	2.15	2.51
	8.0	4.86	3.58	4.08	2.89	2.55	2.72
D32-D16	2.5	4.54	3.92	4.26	3.88	2.55	3.16
	4.0	5.16	4.20	4.74	4.20	2.24	3.10
	5.5	6.18	4.34	4.91	4.24	2.59	3.37
	8.0	7.48	4.90	5.92	4.81	2.99	3.82
D38-D19	2.5	4.84	4.00	4.40	4.87	3.25	3.94
	4.0	7.18	3.04	5.11	5.94	3.65	4.43
	5.5	7.32	4.58	5.91	5.83	2.75	4.24
	8.0	10.62	6.28	7.80	5.94	3.72	4.96

表-6 曲げ試験結果

鉄筋径	目標せん断強さ (tf)	溶接部圧縮 曲げ角度 平均(度)	溶接部引張 曲げ角度 平均(度)	観察
D13	母材	172	なし	
	1	172	"	145 あり
	2	171	"	128 "
	3	171	"	172 "
D16	母材	172	"	
	1	171	"	172 一部
	2	170	"	148 あり
	3	170	"	147 "
D19	母材	169	"	
	1	134	一部	47 あり
	2	131	一部	36 "
	3	169	あり	40 "
D22	母材	168	なし	
	1	167	あり	30 あり
	2	166	"	29 "
	3	167	"	34 "
D25	母材	163	なし	
	2.5	163	"	67 あり
	4.0	163	一部	73 "
	5.5	163	"	73 "
	8.0	163	なし	163 一部
D32	母材	155	"	
	2.5	155	"	21 あり
	4.0	155	"	26 "
	5.5	155	"	24 "
	8.0	155	"	23 "
D38	母材	149	"	
	2.5	149	"	149 あり
	4.0	149	"	20 "
	5.5	149	"	21 "
	8.0	149	"	26 "

注) 観察の、なし: 割れやキレツなし
あり: 3本とも割れやキレツあり
一部: 3本のうち1本でも割れやキレツあり

6. 曲げ試験

溶接した鉄筋の曲げ加工の可能性を検討するため、曲げ試験を行った。試験は、JIS Z 2248 (金属材料曲げ試験方法) の押曲げ法に準じ、曲げ半径をD16以下は鉄筋径の1.5倍、D19以上は鉄筋径の2倍とし、溶接点が引張側になる場合と、圧縮側になる (溶接点を巻き込む) 場合について行った。また、鉄筋が割れるまで、または割れることなく試験機の最大能力まで押し込んだときの変位を測定し、図-9のように曲げ角度 2θ を求めた。

曲げ試験結果を表-6、図-10に示す。溶接点を巻き込む場合、一部の鉄筋を除き 180° 近く曲げても変状はなく、曲げ半径を多少大きくすることにより曲げ加工は可能と考えられる。溶接点が引張

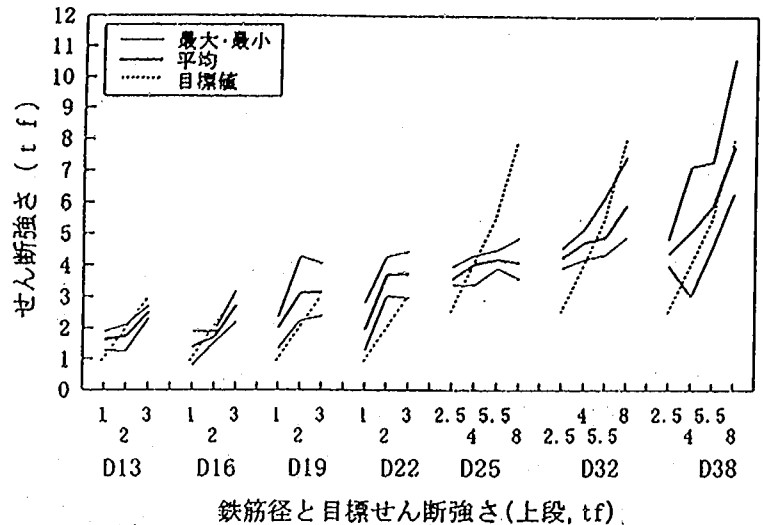


図-7 せん断試験結果

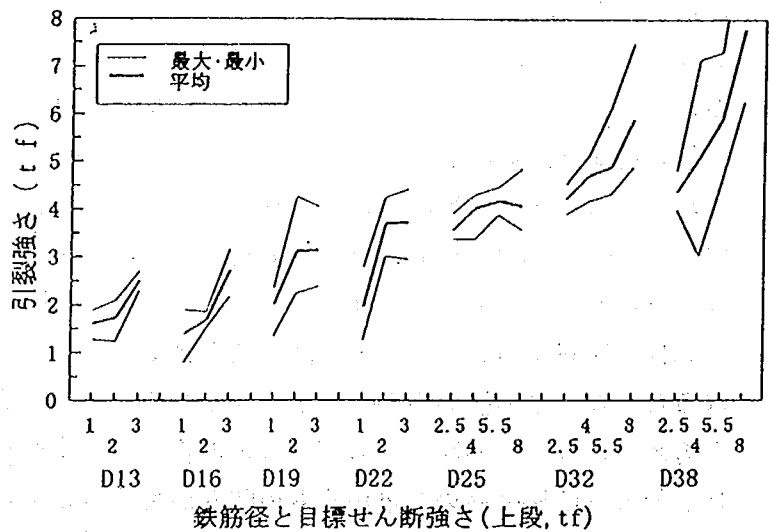


図-8 引裂き試験結果

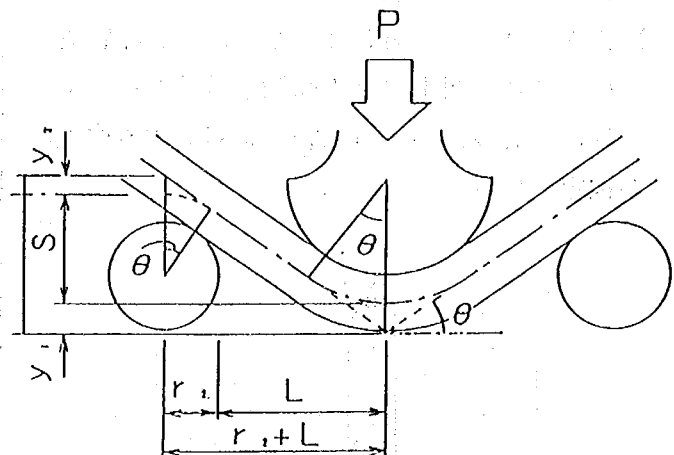


図-9 曲げ試験

になる場合、すべて割れまたはキレツを生じた。目標せん断強さにはほとんど関係なく、鉄筋径が太くなるほど小さい曲げ角度で割れを生じる傾向にある。D32、D38は20°程度で割れを生じており、フックなど曲げ半径が小さい場合溶接点が引張を受けるような曲げ加工は避けることが望ましい。

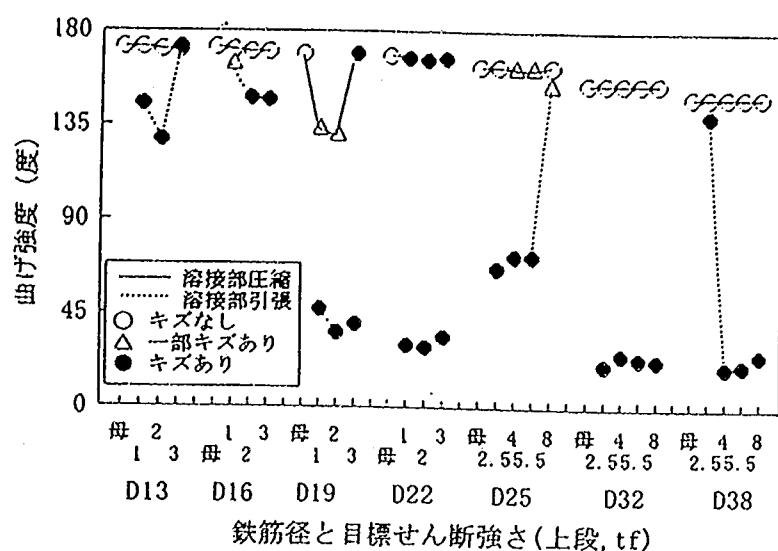


図-10 鉄筋の曲げ試験結果

7. まとめ

スポット溶接した鉄筋の強度試験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ① 引張強度に与える溶接の影響は小さく、母材に対して90%以上の強度は確保されており、規格値も十分満足した。溶接部で破断した場合も強度的には問題ないことから、引張許容応力度は現行規準の値を用いてもさしつかえない。ただし、伸びが小さくなるため、塑性ヒンジが形成されるなど伸び能力を要求される部位では溶接をさけることが望ましい。
- ② 疲労強度は、溶接による温度の影響により低下するが、鉄筋径が太くなるほどその影響も小さくなり、細い径のものは母材の67%であったが、D38は母材の93%であり、示方書の規定（学会式の50%）はほとんど上回った。また、アーク溶接に比べ疲労強度が高く、熱の影響による強度低下は小さい。
- ③ 溶接点のせん断強さは、鉄筋径が太いほど高い強度が得やすい。ばらつきはかなり大きいため、ユニット鉄筋の製作に用いるせん断強さは設計荷重を下回らないような管理が必要と考えられる。
- ④ 引裂き強さは、せん断強さの2/3程度であり、品質管理には試験の簡単なせん断強さ試験を行っておけばよい。
- ⑤ 溶接点を巻き込む曲げ加工は可能であるが、引張になるような場合は割れやすく、わずかな曲げ能力しかないため、フックなど曲げ半径が小さい場合は避けたほうがよい。

8. あとがき

以上の結果より、溶接部の破断の伸びなど何点かの注意点はあっても、擁壁、ボックスカルバートなど静的な構造物にスポット溶接によって製作されたユニット鉄筋を使用できることが明らかになった。

なお、本実験は、建設省総プロ「建設事業における施工新技術の開発」の鉄筋コンクリートワーキング（リーダー：檜貝山梨大学教授）で、（株）諏訪溶工の協力のもとに土木研究所と先端建設技術センター、民間11社の共同研究で行ったものである。

【参考文献】

- [1] 小林ほか：コンクリート用鉄筋に関する検討、土木研究所資料、Vol. 30, No. 12, pp. 51-57, 1988. 12

ユニット鉄筋の重ね全数継手の継手長と継手位置に関する実験

建設省土木研究所 正会員 森濱 和正
正会員 河野 広隆
正会員 菊森 佳幹

1. はじめに

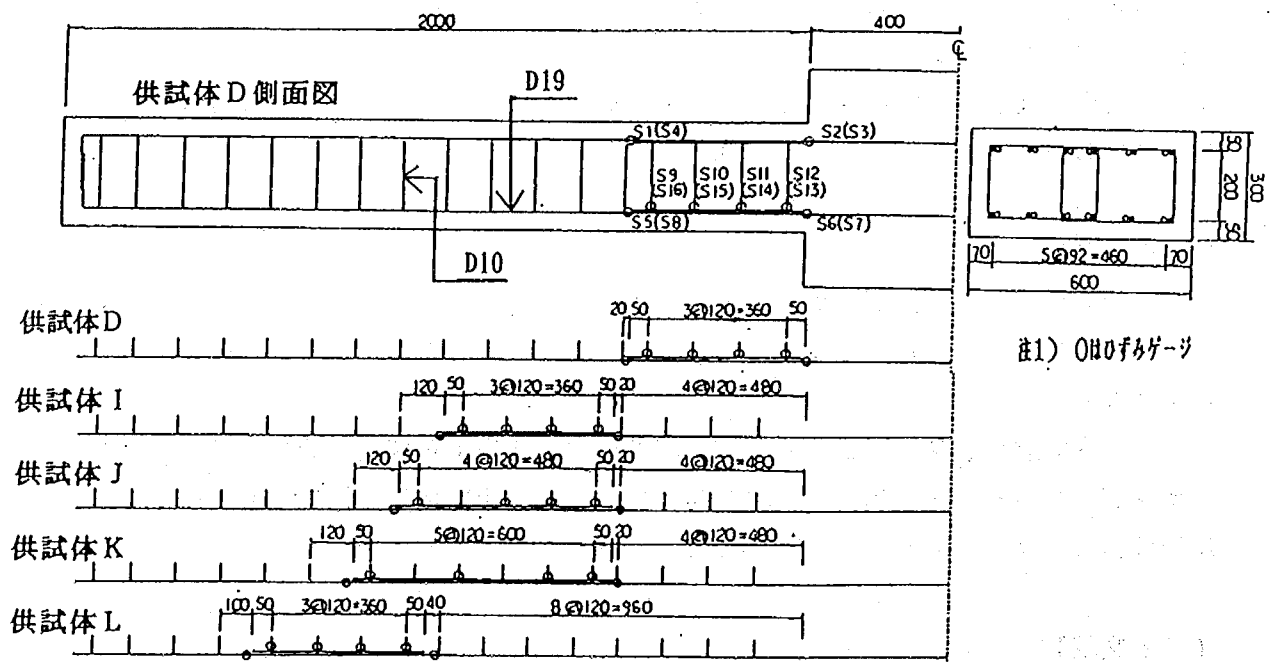
鉄筋組立ての合理化を図るために、事前に組み立てた鉄筋(ユニット鉄筋)の使用が考えられている。ユニット鉄筋の使用にあたっては、とくに製作するための点溶接と、現場で組み立てるときのユニット鉄筋同士の間接が問題となる。そのうち、ここでは継手について検討した。

ユニット鉄筋の継手は形状の単純化のため、同一断面に集中した重ね継手(以下、全数継手と呼ぶ)となる。ところが、現在の基準では全数継手が事実上禁止されているため、ユニット鉄筋を本格的に導入する大きな障害になっている。全数継手とした場合、ひびわれ幅が大きくなったり、破壊時には急激にコンクリートの割裂破壊が生じるなど耐力・変形上の問題が考えられているためである。しかし、継手方法を工夫することにより全数継手を使用できると考えられる。以前、一方向の繰返しを受ける部材の重ね全数継手の載荷実験を行い、継手位置に制限を設け、継手長を伸ばすことにより、全数継手を使用できることを報告した¹⁾²⁾。

今回は、正負の繰返しを受ける部材についての全数継手の載荷実験を行った。検討内容は、継手位置、継手長、継手部の補強方法である。そのうち、本編では継手位置、継手長について検討し、補強方法については別途報告する予定である³⁾。

2. 実験概要

実験した供試体は、図-1のとおり中央にスタブを設けたはり供試体である。継手位置はモーメントの最大の位置(1.0M、供試体D)に対し、供試体Iはモーメント0.72M、供試体Lは0.44Mの位置である。継手長はいずれも標準示方書の基本定着長(24 ϕ)としたが、0.72Mの位置では、継手長を31 ϕ (供試体J)、37 ϕ (供試体K)に変えた。比較用の供試体として、継手のない供試体Aも実験した。主鉄筋比は0.82%、せん断補強筋比は0.4%である。



載荷パターンは正負交番繰返しとし、主鉄筋降伏までは、許容、許容の5割増し、公称降伏点で10回ずつ繰返し載荷を行った。降伏以降は、降伏変位の1/10ずつ漸増し、繰返し載荷とした。

3. 実験結果

3.1 ひびわれ・破壊状況

図-2にひびわれ状況を示す。供試体Dは継手位置の鉄筋に沿った付着割裂ひびわれが発生して急激に破壊した。供試体Iは、 $4.2\delta_y$ で急に付着割裂ひびわれが発生した。その他の供試体は、継手位置は曲げひびわれのみであり、破壊は正負繰返し特有のモーメントの大きい部分での曲げせん断破壊であった。

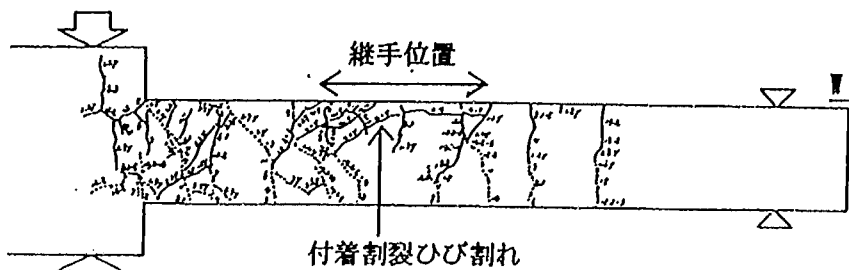


図-2 ひびわれ図(供試体I)

3.2 荷重-たわみ関係

荷重-たわみ図を図-3と4に示す。図-3は、継手位置の関係を示したものであり、供試体Dは降伏後わずかの变形で急激に荷重が低下していることがわかる。また、供試体Dは初期の剛性が高くなっているが、これは、モーメントの大きい部分に継手を設けたことにより鉄筋量が2倍になったためである。供試体Iは80mm付近($4.2\delta_y$)で急に低下している。なお、荷重低下が図の右上で起っているのは供試体の上側(打設面)が引張となる場合であり、ブリーディングにより付着が低下し、底面より先に破壊を生じたためである。これらは、いずれも付着割裂ひびわれ発生にともなうものであり、このひびわれにより急激に耐力が低下する脆い破壊であり、このような破壊が生じないようにしなければならない。その他の供試体は供試体Aと同様に、いずれも大きな変形性を有していることがわかる。

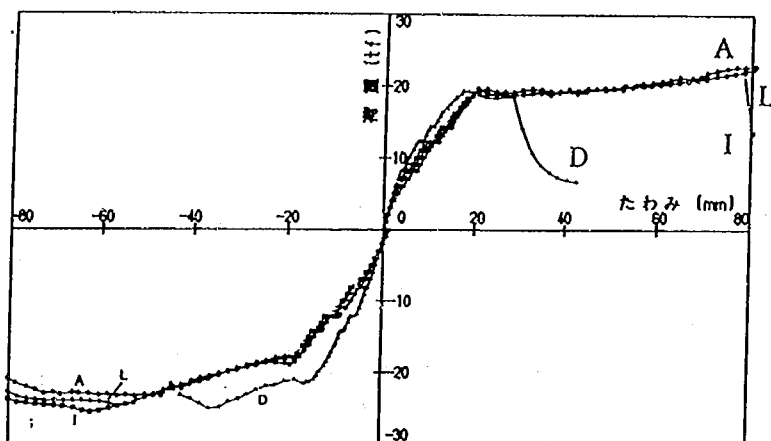


図-3 荷重-たわみ図(継手位置の比較)

図-4は継手長の関係を示したものであり、いずれも供試体Aとほぼ同じ挙動であった。

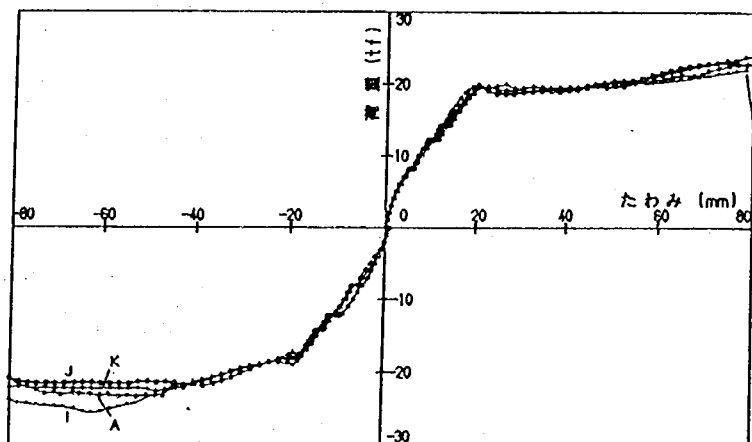


図-4 荷重-たわみ図(継手長の比較)

4. まとめ

全数継手正負繰返しの載荷実験を行い、継手位置を制限し、継手長を長くすることにより、全数継手を設けても、十分な靱性を得ることができることが明らかになった。

【参考文献】1)高橋、森濱、河野：主鉄筋の重ね継手を同一断面に集中した部材の曲げ挙動、土木学会第48回年次学術講演会第5部、1993.9 2)河野、森濱：ユニット鉄筋の導入による施工合理化技術-点溶接および全数継手の影響の検討-土木技術資料、Vol.36、No.1、1994.1 3)菊森、森濱、河野：ユニット鉄筋の重ね全数継手の補強方法に関する実験、土木学会第50回年次学術講演会第5部、1995.9 (投稿中)

ユニット鉄筋の重ね全数継手の補強方法に関する実験

建設省土木研究所 正会員 菊森 佳幹 森濱 和正 河野広隆

1. はじめに

鉄筋組立ての合理化を図るために、ユニット鉄筋の使用を検討してきた¹⁾²⁾³⁾。そのうち、文献3)では正負繰返し荷重を受ける部材の同一断面に重ね継手を集中させた場合(全数継手)の継手長と継手位置についての検討を行なった。本編では継手部の補強方法について検討したものである。

全数継手は、破壊時には鉄筋に沿った付着割裂ひび割れを生じ、急激に耐力が低下する脆い破壊となるため、全数継手の採用にあたっては継手位置、継手長の適切な設計とともに、継手部の補強が重要である。本編では、継手部の横補強筋による補強の効果について報告するものである。

2. 実験概要

実験した供試体は、図-1のようなA~Hの8体である。継手位置はモーメントが最大の位置に設け、継手長はいずれも標準示方書の基本定着長(24 ϕ)とした。継手部の補強は、表-1および図-2のように横補強筋の径、間隔、一断面内の組数によって補強筋量を変えた。供試体Aは継手のない供試体である。

載荷パターンは正負交番繰返しとし、主鉄筋降伏までは、許容、許容の5割増し、公称降伏点で10回ずつ繰返し載荷を行った。降伏以降は、降伏変位の1/10ずつ漸増しながらの繰返し載荷とした。

表-1 横補強筋

供試体	横 補 強 筋				
	鉄筋種類	間隔(mm)	組数	補強筋比(%)	隣接鉄筋間隔
B	D13	105	1	0.4	1/3
C	D10	120	1	0.2	1/3
D			2	0.4	2/3
E			3	0.6	3/3
F	D6	80	1	0.13	1/3
G			2	0.26	2/3
H			3	0.40	3/3

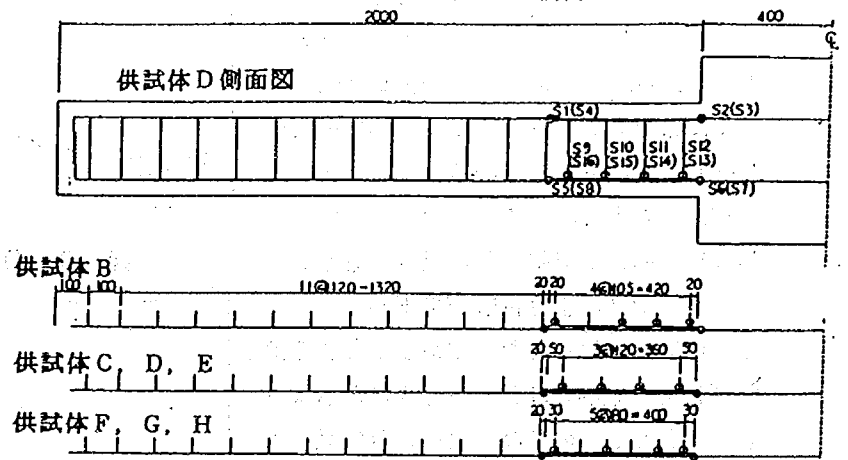


図-1 供試体の配筋図

3. 実験結果

3.1 ひびわれ・破壊状況

図-3にひびわれ状況の一例を示すよ

うに、すべての供試体は鉄筋に沿った付着割裂ひびわれが発生して急激に破壊した。供試体Cは、主鉄筋降伏前に付着割裂ひびわれが発生したが、そのほかの供試体は降伏以後破壊した。

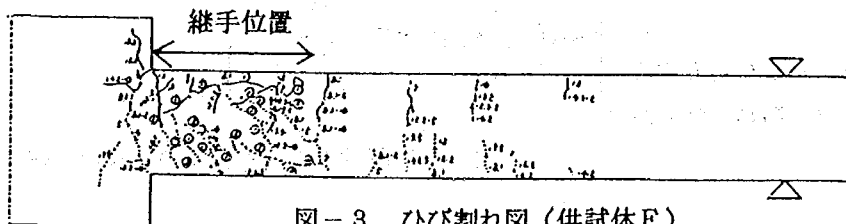


図-3 ひび割れ図(供試体F)

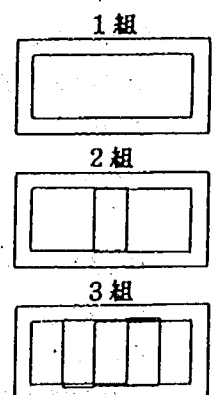


図-2 横補強筋

3.2 荷重-たわみ関係

荷重-たわみ図を図-4~6に示す。なお、付着割裂ひび割れは打設面側が先に発生し、荷重が低下した。それは、荷重-たわみ図の右上側に現れていることから、打設面側の破壊時を検討対象とした。

図-4は、鉄筋径が異なり補強筋比が一定(0.4%)の場合である。この場合は、どの供試体も降伏してわずかに後に付着割裂ひび割れを生じ、急激に耐力を失った。ただし、鉄筋径の細いものを使用し鉄筋の組数を

増やすことにより、多少耐力の低下が緩くなる傾向がある。

図-5は、横補強筋にD10を使用し、補強筋量を変えた場合である。この場合は、補強筋量が増えるほど荷重が低下するまでのたわみも増加し、じん性が向上していることがわかる。

図-6は、横補強筋にD6を使用した場合であるが、補強筋が2組と3組は1組よりじん性は向上しているが、2組と3組では明確な違いはない。供試体全幅にわたって一様に力が作用すれば補強筋の効果も明確に得られるものと考えられるが、ひび割れの発生状況を観察していると付着割裂ひび割れは側面から進行する傾向にあった。このことから、このケースのように補強筋に細い鉄筋を使用するといったんひび割れが発生すると補強筋に大きなひずみを生じ補強効果が少ないことが原因と考えられる。

3.3 塑性率と横補強筋比

図-7に塑性率と横補強筋比の関係を示す。ここで、塑性率とは、降伏たわみに対する付着割裂ひび割れが生じ荷重が低下する直前のたわみの比である。横補強筋比は(1)式で定義した。

$$\text{横補強筋比} = \frac{\text{単位長さ当たりの全横補強筋量}}{\text{全主鉄筋量}} \quad (1)$$

図-7より横補強筋比が大きくなれば塑性率も大きくなる傾向にある。供試体Hは、3.2で述べたように補強筋が細すぎた可能性があり、これを除くとほぼ直線関係にある。この図より、付着割裂ひび割れによる荷重低下が生じるときのたわみを降伏たわみ程度まで確保するには、横補強筋量は単位長さ当たり全主鉄筋量と同量程度必要なことがわかる。全数継手を設ける場合、継手位置を考えると同時に補強が必要と考えられる。

4. まとめ

全数継手が正負繰返しを受ける場合の横補強は、補強筋量が増えるほどじん性も大きくなることが明らかになった。

【参考文献】1)高橋、森演、河野：主鉄筋の重ね継手を同一断面に集中した部材の曲げ挙動、土木学会第48回年次学術講演会第5部、1993.9 2)河野、森演：ユニット鉄筋の導入による施工合理化技術一点溶接および全数継手の影響の検討-土木技術資料、Vol.36、No.1、1994.1 3)森演、河野、菊森：ユニット鉄筋の重ね全数継手の継手長と継手位置に関する実験、土木学会第50回年次学術講演会第5部、1995.9

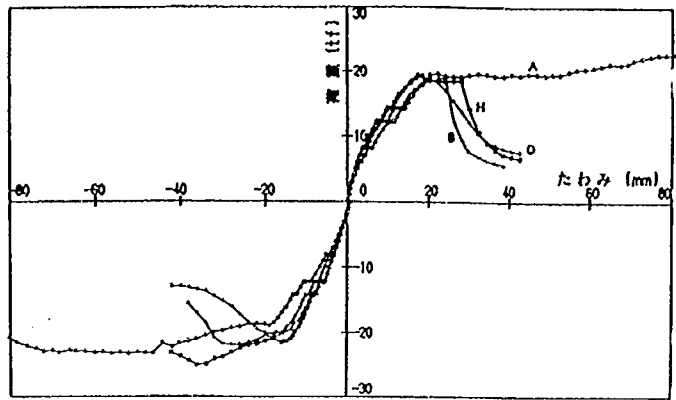


図-4 荷重-たわみ図(横補強筋比一定)

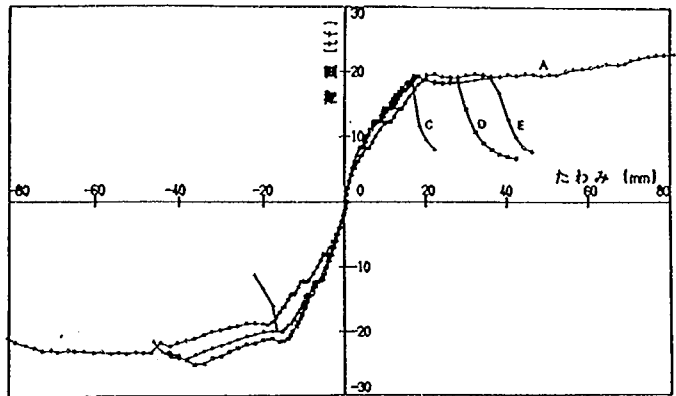


図-5 荷重-たわみ図(横補強筋D10)

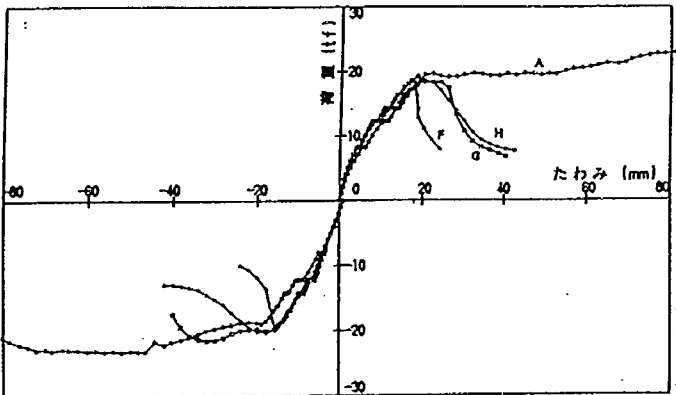


図-6 荷重-たわみ図(横補強筋D6)

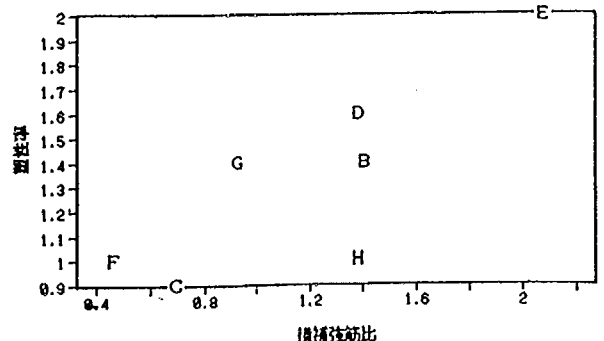


図-7 横補強筋比とじん性

自動化に適したコンクリート構造物の
設計・施工技術の開発に関する

共同研究報告書第121号
平成7年3月(1995)

共同研究報告書(5)

「ユニット鉄筋」設計
・施工マニュアル(案) 一

建設省土木研究所 材料施工部 コンクリート研究室

財団法人 先端建設技術センター

株式会社 大林組

佐藤工業 株式会社

大成建設 株式会社

株式会社 間組

鹿島建設 株式会社

清水建設 株式会社

飛島建設 株式会社

前田建設工業株式会社

株式会社 熊谷組

株式会社 銭高組

西松建設 株式会社

要 旨

建設省総合技術開発プロジェクト「建設事業における施工新技術の開発」では、「自動化に適したコンクリート構造物の設計・施工技術の開発に関する研究」に関して、1990年度より建設省土木研究所、財団法人先端建設技術センター、民間企業11社で共同研究を実施した。

本研究は、建設事業の高品化、効率化、労働環境の向上を図る方策として、鉄筋コンクリート構造物を対象にして、施工の合理化・省力化に当たって、現行諸基準の問題点を検討し、自動化・合理化に適した設計・施工マニュアル(案)の作成を行うものである。

本報告書は、溶接した鉄筋の強度試験、重ね継手を同一断面に集めた場合(全数継手)の載荷実験、ユニット鉄筋を使用した試験施工などの調査結果をもとに、「ユニット鉄筋」設計・施工マニュアル(案)を作成した。

キーワード：鉄筋の加工・組立て、ユニット鉄筋、全数継手、アーク溶接、スポット溶接、品質管理

○

郵便はがき

切手をは
いて下さ
い。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究室 行

No. 003

No. 003

配布先氏名

○

配布先住所

土木研究所共同研究資料第121号
部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

○