

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)

1993年3月

建設省土木研究所
地質化学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 銭高組
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 © 1993 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、本報告書の全部又は一部の転載、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(1)

建設省土木研究所 地質化学部 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 銭高組*
大成建設 株式会社	飛鳥建設 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	

*1992年度より参加

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ている。

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、施工の自動化及び合理化にあたって、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・施工基準の作成を行うものである。

本報告書は、以下の重点課題について、90～92年度に行った調査研究の成果をとりまとめたものである。

- ①流動化コンクリート、高流動コンクリートについての文献調査、アンケート調査
- ②鉄筋の加工・組立て、配筋についての文献調査、アンケート調査
- ③同一断面に継手を集めた場合（全数継手）の影響に関する実験
- ④鉄筋組立てに点溶接を導入するにあたっての検討および実験

キーワード：自動化、鉄筋コンクリート構造物、流動化コンクリート、高流動コンクリート、鉄筋の加工・組立て、ユニット鉄筋、全数継手、点溶接

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	嶋津晃臣	機械施工部長	90年度
	吉野文雄	企画部先端技術開発研究官	90年度
	久楽勝行	機械施工部長	91年度～
	池村雅司	企画部先端技術開発研究官	91年度～
	小林茂敏	地質化学部コックリト研究室長	90年度
	河野広隆	" "	90年度～
	森濱和正	" " 研究員	90年度～
	村椿良範	積算技術研究センター 課技術基準係長	90年度～
(財)先端建設技術センター	赤松惟央	専務理事	90年度
	藤井崇弘	専務理事	91年度～
	小宮山克治	常務理事	90年度～
	原田彪	研究第二部長	90～91年度
	糠沢宏二	"	92年度～
	大内田博喜	" 主任研究員	90～91年度
	垣内幸雄	" 主任研究員	92年度～
(株)大林組	扇啓祐	土木技術本部 技術第四部長	90年度～
	菊地禎二	" 設計第二部長	90年度～
	原田暁	" 技術第四部 技術課長	90年度～
	堅川孝生	土木技術本部 技術第四部 技術課長	90年度～
鹿島建設(株)	重松和男	技術研究所 研究室長	90年度～
	大友忠典	" 主管研究員	90年度～
	本橋賢一	" 主任研究員	90年度
	坂田昇	" 研究員	92年度
	山毅彦	" 研究員	91年度
	寺内敏也	" 研究員	91年度～
(株)熊谷組	松浦光男	技術研究所材料研究部 主任研究員	90年度～
	渡部聰	技術研究所材料研究部 研究員	90年度～
	河村彰男	" 研究員	90年度～
佐藤工業(株)	岩藤正彦	中央技術研究所 副所長	90年度～
	弘中義昭	" 研究員	90年度～
	宇野洋志城	" 研究員	90年度～

清水建設（株）	小 野 定	土木本部技術第一部	課長	90年度～
	木 村 克彦	〃	主査	90年度
	阿 部 久雄	〃	主任	92年度
	江 渡 正満	〃	課員	90年度～
	戸 栗 智仁	〃	課員	90年度～
（株）銭高組	鶴 岡 胤 英	技術本部 技術研究所	副所長	92年度～
	冨 士 泰彦	土木本部 生産システム部	課長	92年度～
	福 永 英 治	〃 P C 部	副課長	92年度～
大成建設（株）	沖 藤 明	土木本部 土木技術部長		90～91年度
	内 藤 隆 史	技術研究所	副所長	90年度～
	大 友 健	技術研究所	土木構造水理研究グループ	92年度～
飛島建設（株）	増 渕 孝 二	技術本部	研究開発部長	90～91年度
	大河原 重 昭	技術本部	研究開発部長	90年度～
	長谷川 昌 弘	〃	〃 課長	91年度～
	田 中 齊	〃	〃 主任	91年度～
	川 端 康 夫	〃	〃 主任	91年度～
	大 倉 真 人	〃	〃 部員	90年度
西松建設（株）	大 矢 一 夫	技術研究所	研究部長	90年度～
	松 井 健 一	〃	主任研究員	90年度～
	佐 藤 幸 三	〃	主任技師	90年度
	原 田 耕 司	〃	研究員	91年度～
	浅 井 功	〃	研究員	90～91年度
	高 橋 秀 樹	〃	主任研究員	92年度～
（株）間組	古 部 浩	技術本部土木技術開発部	部長	90年度～
	大 崎 幸 雄	〃	部長	90年度～
	早 川 雅 彦	〃	係長	90年度
	馬 渡 裕 二	〃	係長	91年度～
	庄 野 昭	土木本部設計部	係長	91年度～
	村 上 祐 治	技術研究所研究第三部	研究員	90年度～
前田建設工業（株）	山 田 一 宇	技術研究所	副所長	90年度～
	出 頭 圭 三	技術研究所土木材料研究室	室長	90年度～
	牧 野 英 久	〃	〃 研究員	90年度～
	中 島 良 光	〃	〃	91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」に取り組むこととなった。

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、施工の自動化にあたって、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・施工基準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。

本共同研究報告書は、下記項目について90～92年度の研究成果を取りまとめたものである。

- ① 流動化コンクリート、高流動コンクリートについての文献調査、アンケート調査
- ② 鉄筋の加工・組立、配筋についての文献調査、アンケート調査
- ③ 同一断面に継手を集めた場合(以下、全数継手と呼ぶ)の影響に関する検討および実験
- ④ 鉄筋組立てに点溶接を導入するにあたっての検討および実験

なお、本共同研究の遂行にあたっては、山梨大学の松貝 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 基準化分科会 鉄筋コンクリートワーキング」の委員の方々およ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。

目 次

序	頁
1. まえがき	1
2. 研究概要	2
3. 要素技術の開発概要	3
4. 鉄筋コンクリート工事の合理化に関するアンケート	4
4. 1 目 的	4
4. 2 調査方法	4
4. 3 コンクリート工事の合理化	4
4. 3. 1 概 要	
4. 3. 2 コンクリート工事及び構造物の概要	
4. 3. 3 配 合	
4. 3. 4 コンクリートの製造・打設	
4. 3. 5 流動化コンクリートの品質管理	
4. 3. 6 流動化コンクリートの使用許可を得るために発注者と協議したか	
4. 3. 7 流動化コンクリート使用による効果	
4. 3. 8 今後、流動化コンクリートを積極的に使用したいか	
4. 3. 9 流動化コンクリート使用上の留意点・提案	
4. 3. 10 適正スランプ	
4. 3. 11 コンクリート工事の自動化、省力化を図るためのコンクリートに対する 意見・提案	
4. 3. 12 ま と め	
4. 4 鉄筋加工・組立て	43
4. 4. 1 概 要	
4. 4. 2 鉄筋の電気溶接	
4. 4. 3 スターラップの配筋	
4. 4. 4 ユニット鉄筋	
4. 4. 5 ま と め	
5. 全数継手載荷実験	68
5. 1 実験目的	68
5. 2 継手強度に関する実験	69
5. 2. 1 実験概要	
5. 2. 2 実験結果	

5. 2. 3	ま と め	
5. 3	せん断力の影響に関する実験	89
5. 3. 1	実験概要	
5. 3. 2	実験結果	
5. 3. 3	ま と め	
5. 4	ま と め	108
6.	点溶接鉄筋の強度実験	109
6. 1	実験目的	109
6. 2	実験概要	109
6. 2. 1	使用材料	
6. 2. 2	実験方法	
6. 3	実験結果	110
6. 3. 1	静的引張強度試験	
6. 3. 2	溶接部自体の強度試験	
6. 4	ま と め	115
7.	あとがき	116
資料	全数継手設計方法(案)	117

1. まえがき

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をあらかじめある単位ごとに工場などで製作（以下、ユニット鉄筋と呼ぶ）しそれを現場で組み立てる方法、部材についても同様にユニット化や大型部材のプレキャスト化などが図られなければならない。これらを実施するための諸基準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、このような自動化、合理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基準（案）を作成することを目的として検討するものである。

本報告書は、種々の合理化策を取り入れるにあたっての現場のニーズ、合理化の効果、問題点などを把握するためのアンケート調査結果、およびユニット鉄筋を使用するにあたっての重要な問題である鉄筋点溶接と全数継手の実験結果について報告する。

2. 研究概要

本研究開発は、90年度より94年度までの5年間の予定で実施し、鉄筋コンクリート構造物を対象として、施工の自動化・合理化および新材料の利用にあたって現行基準の問題点を検討し、自動化・合理化に適した鉄筋コンクリートの設計・施工基準の作成を行うことを目的とする。

初年度には、鉄筋コンクリート構造物建設の自動化・合理化を図る上での障害となっている現行の基準類の問題点を抽出し、見直しの必要な項目、検討課題を整理した。検討の結果、以下の3項目について現場打設の自動化・合理化を図っていく上で効果が大きいと考えられ、重点的に検討することとした。

① コンクリートの打込み、締固めに関する課題

- ・流動性の高いコンクリート（流動化、高性能A E減水剤、高流動コンクリート）の利用

品質管理方法の検討

- ・構造物別適正スランプ

② 鉄筋の加工・組立てに関する課題

- ・ユニット鉄筋の利用

全数継手に関する検討

溶接継手（点溶接）に関する検討

- ・スターラップの簡易組立て

③ 断面の標準化、単純化に関する課題

91年度以降、重点課題を中心に文献調査、実験などにより基準の見直しを行い、各要素技術の基準化を図っていく。

これらの検討結果をもとに「自動化・合理化に適した鉄筋コンクリート設計施工基準（案）」の作成を行う。

3. 要素技術の開発概要

初年度の調査により、合理化の具体策として、前章の3点の重点項目が上がった。これらの基準化の検討のため、91、92年度は以下の調査を実施した。

(1) 鉄筋コンクリート工事の合理化に関するアンケート

合理化策を現場に適用するにあたって、現場ニーズ、問題点、今後検討するにあたっての実験計画の絞り込みなどのため、アンケート調査を実施した。

(2) ユニット鉄筋の利用にあたっての検討

ユニット鉄筋を利用するにあたっては、2つの解決すべき重要な問題点がある。第一点は、工場などで製作する場合、組立てに点溶接が不可欠であること、第二に、現場での組立ては全数継手となることである。いずれも現行の基準類では、禁止もしくはきびしい制限があるため、これらについてどのような条件であれば使用可能かを確認するための実験を行った。

1) 全数継手に関する載荷実験

いくつかの想定される全数継手方法の強度を求め、全数継手の設計方法の確立を目的として実験を行った。

全数継手は、重ね継手を対象とした。その理由は、継手部のコンクリートの割裂破壊をさけるためには機械式継手が有効であるが、特殊な技能者が必要であり、管理も難しいため、施工の合理化とは逆行する。それに対し、重ね継手は継手機構がほぼ解明されており、施工および管理が容易であるからである。

2) 点溶接の強度試験

点溶接を行うと、高温が加わることにより材質に悪影響を及ぼすため、点溶接鉄筋の強度試験を行った。また、組み立てた鉄筋は、施工時にさまざまな荷重が作用するため、それを考慮した溶接部自体の強度実験を行った。

4. 鉄筋コンクリート工事の合理化に関するアンケート

4. 1 調査目的

今回のアンケート調査は、前年度の研究結果に基づき、「コンクリート工事合理化」及び「鉄筋工事の合理化」を進めるための検討事項として挙げられた問題点（流動化コンクリートの使用、鉄筋の組立て・加工の合理化など）が実際の工事現場でどのように考えられているか、あるいはどの程度使用されているか、等の実情を把握し、今後の研究を進めていく上での参考にするために実施したものである。

4. 2 調査方法

アンケート調査は、社団法人日本土木工業協会 会員会社（178社）に対して、「コンクリート工事合理化に関するアンケート」及び「鉄筋工事合理化に関するアンケート」を実施した。なお、アンケートの調査票は、参考資料として巻末に添付した。

4. 3 コンクリート工事の合理化（主として流動化コンクリートについて）

4. 3. 1 概要

コンクリート工事の合理化に関するアンケートは、以下に示す3項目である。

① 流動化コンクリートに関するもの

ここでは、a. 流動化コンクリート、b. 高性能A E減水剤を使用したコンクリート、c. 水中コンクリート、d. 締固め不要コンクリートを含む

② コンクリート構造物の適性スランプに関するもの

③ コンクリート工事の合理化に関するもの

なお、アンケートの回答数は179であったが、質問内容によっては複数回答を求めたものもあり、各質問における集計回答数は異なる。

4. 3. 2 コンクリート工事及び構造物の概要

ここでは、対象とした作業所の工事及び構造物の概要についてまとめた。今回の質問は、流動化剤の使用状況の調査を主目的としているが、質問の意図を明確にするため、コンクリートの種類として、①流動化剤を使用したコンクリート（下記の③④を除く流動化コンクリート）、②高性能A E減水剤を使用したコンクリート、③水中コンクリート④締固め不要コンクリートの4種に分類して整理した。

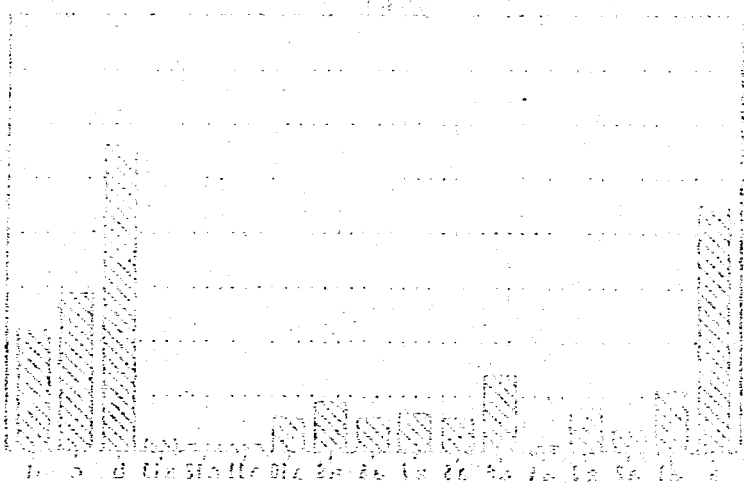
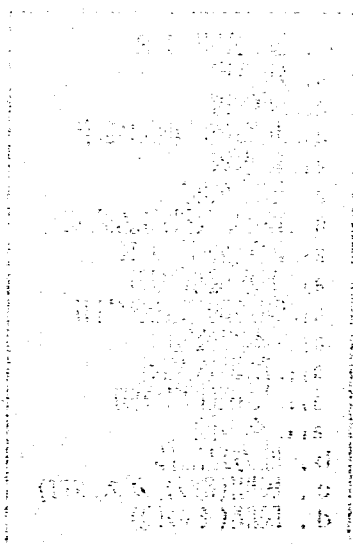
なお、アンケートの回答数は179であったが、質問内容によっては複数回答を求めたものもあり、各質問における集計回答数は異なる。

1) コンクリートの種類

「コンクリートの種類」の分類結果を図-4・3・1に示す。流動化剤を使用したコンクリートの集計結果が全体の70%弱を占めているが、高性能A E減水剤（ここでは主にスランプ保持型の高性能A E減水剤を指す）を用いたコンクリートが15.1%、締固め不要コンクリートが2.8%と最近開発が進められているコンクリートに対しても多くの回答が得られた。

2) 工事発注者の分類

「工事発注者」の分類結果を図-4・3・2、図-4・3・3に示す。地方自治体、民間工事における使用実績も多く、かなり浸透していることが伺える。



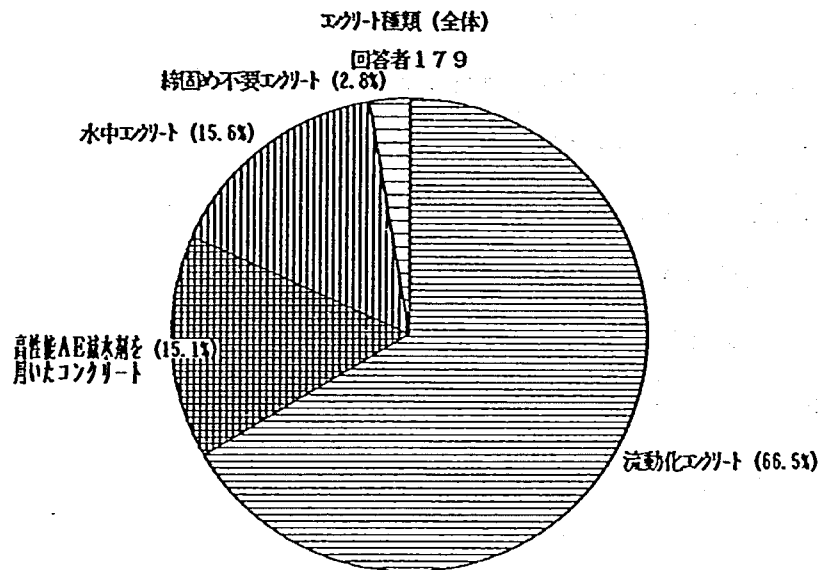


図-4・3・1 コンクリートの種類

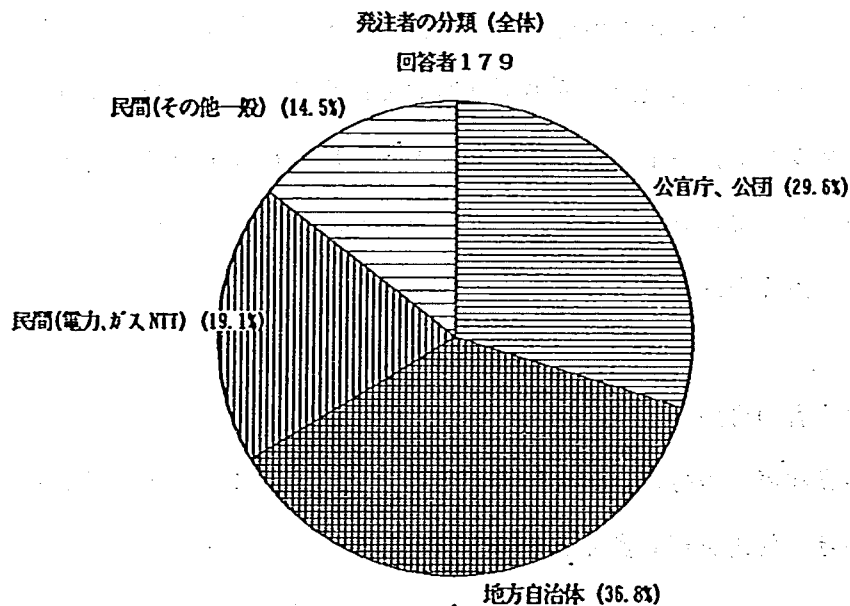


図-4・3・2 工事発注者の分類 (その1)

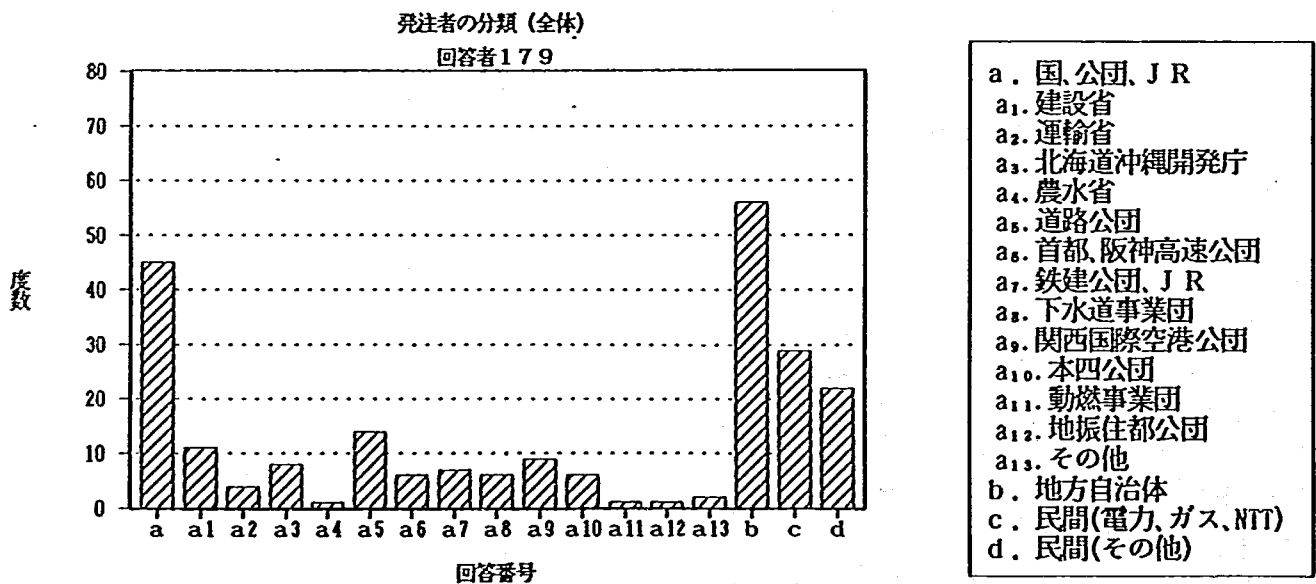


図-4・3・3 工事発注者の分類 (その2)

3) 工事分類

「工事の種類」の分類結果を図-4・3・4に示す。工事の種類は、発注者指定の工事名を分類したものである。トンネル、シールド、処理場、発電所、橋梁関連工事で70%弱が占められていた。

4) 構造物及び部材の種類

「構造物種類」の分類結果を図-4・3・5、図-4・3・6に、「部材種類」の分類結果を図-4・3・7、図-4・3・8に示す。それぞれ、「全体」の結果及び「流動化剤を用いたコンクリート」のみの結果を集計整理した。

「構造物の種類」は、「全体」、「流動化剤を使用したコンクリート」の集計結果ともに、覆工（シールド、トンネル）、梁柱床構造物（処理場、発電所）、橋梁関連構造物で60%～65%を占めていた。覆工は打設のしにくさ、梁柱床構造物及び橋梁関連構造物は部材厚、配筋等が流動化剤を用いた理由と考えられる。

「部材種類」は、「全体」、「流動化剤を使用したコンクリート」ともに同様の傾向を示している。特に、壁（アーチ）部材が38.5%と多く、部材厚が薄いことが流動化剤を用いた理由になっているものと考えられる。

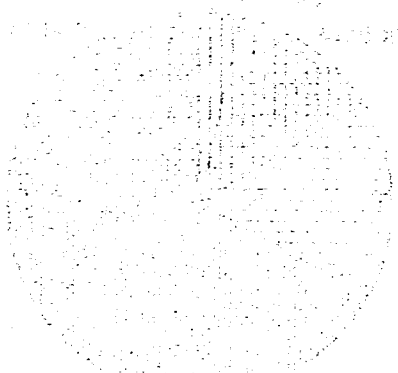


図-4・3・4 「工事の種類」の分類結果（全体）

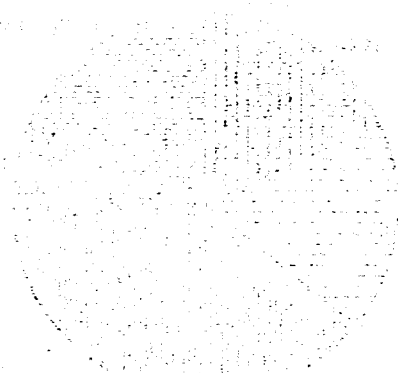


図-4・3・5 「工事の種類」の分類結果（流動化剤を用いたコンクリート）

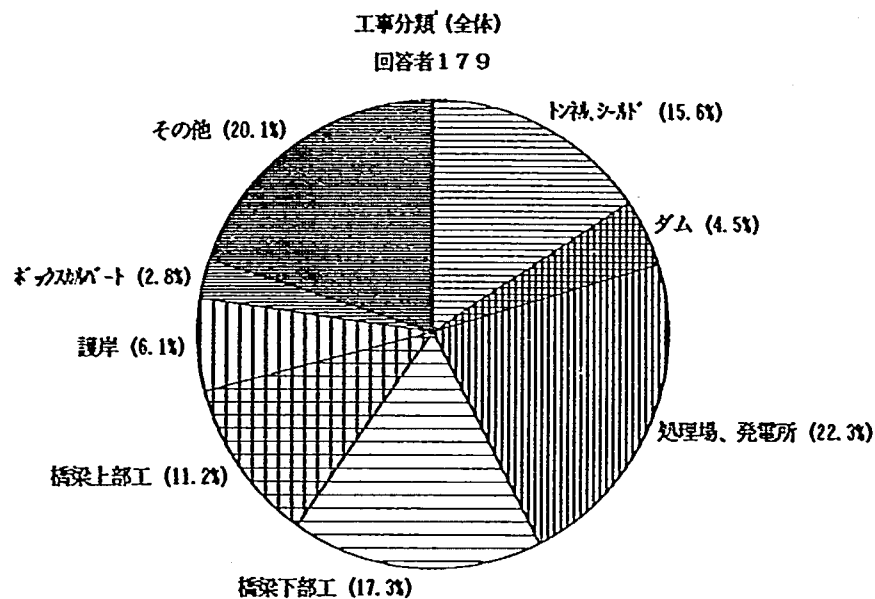


図-4・3・4 工事分類

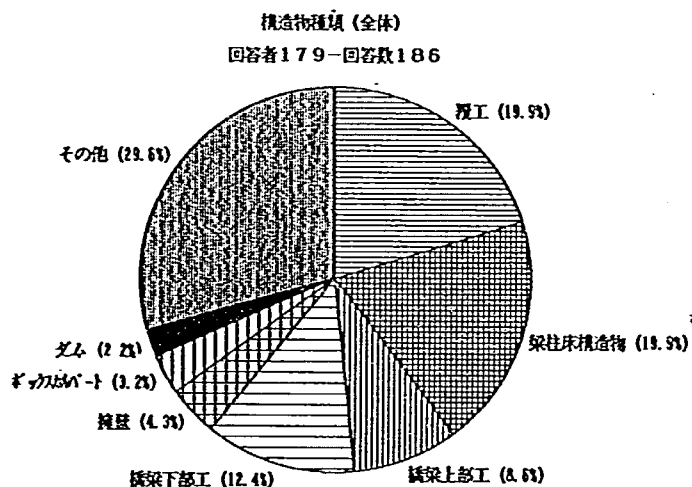


図-4・3・5 構造物種類 (全体)

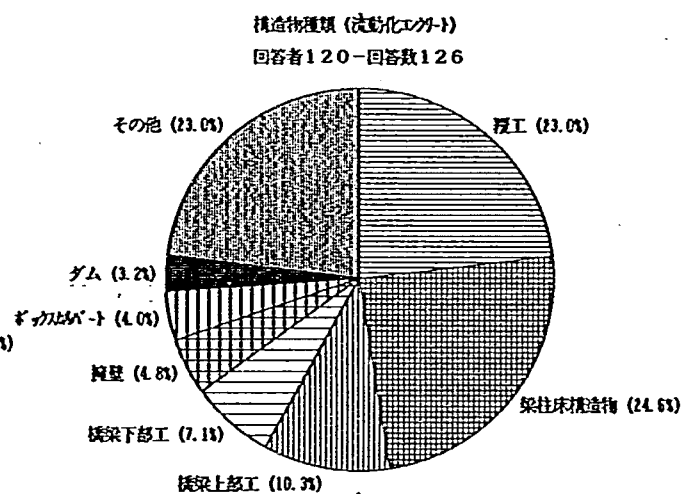


図-4・3・6 構造物種類 (流動化コンクリート)

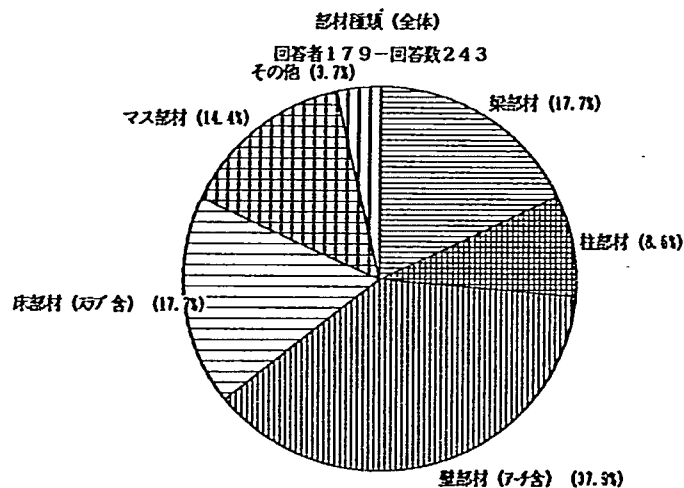


図-4・3・7 部材種類 (全体)

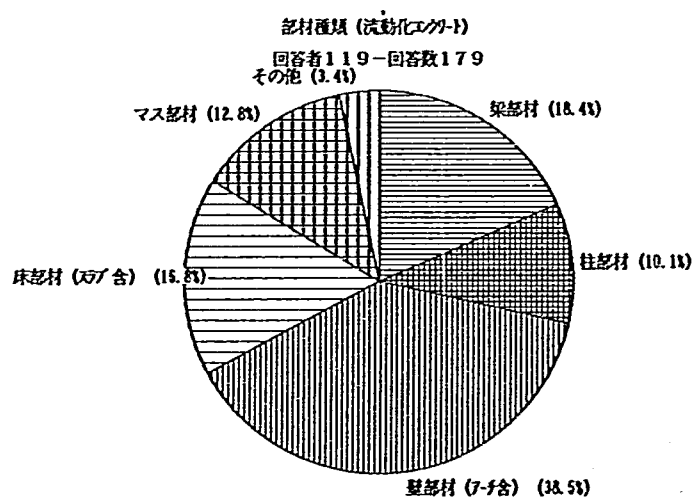


図-4・3・8 部材種類 (流動化コンクリート)

5) 使用目的

「使用目的」の分類結果を図-4・3・9に示す。「使用目的」としては、「c. 品質の向上」が最も多く、その他「e. 部材厚が薄い」「f. 配筋が密」等の部材形状を理由としたもの、「g. 長期流動性確保」、「b. 富配合での施工性の改善」、「i. 暑中コンクリート」があげられている。上記結果は、前述した「構造物の種類」、「部材種類」で考えられた採用理由を裏付けている。

「h. 打設時間の短縮」、「i. 打設要員の削減」等、施工者の利益を使用目的とした回答は少なかった。

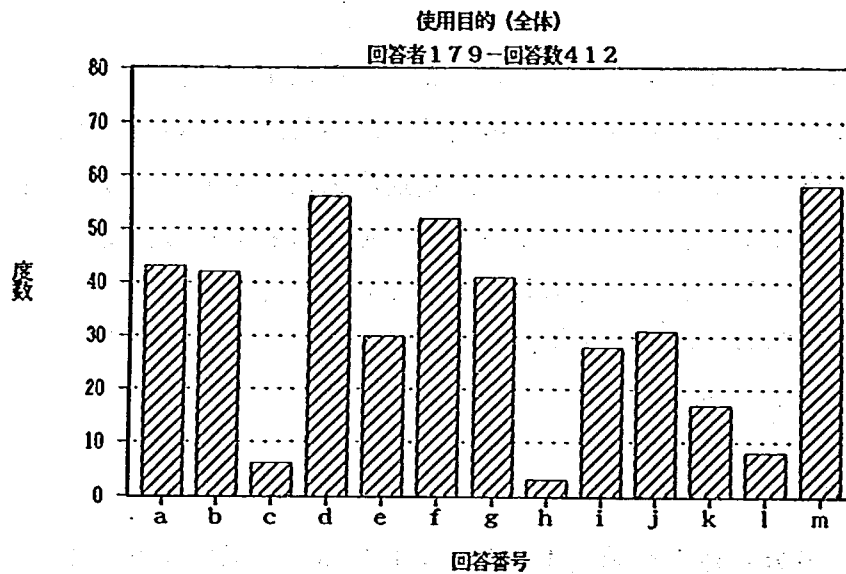
6) 鉄筋量

「鉄筋量」の分類結果を図-4・3・10に示す。鉄筋量 0.1 t/m^3 以上の割合が50%弱あり、鉄筋量が多い構造物での流動化剤の使用状況が確認できた。但し、一般的なコンクリート工事での鉄筋量の割合が明かでないため、この結果で鉄筋量と流動化剤の使用状況との関係を特定することは困難である。

鉄筋量 0 t/m^3 （無筋）が21.1%を示しているが、ここでの構造物はほとんどが覆工である。

7) 季節

「季節」の分類結果を図-4・3・11に示す。打設の季節としては、夏が29.8%と最も多く、「暑中コンクリート」として、前述の「使用目的」の分析結果を裏付けている。



- a. 最初から設計図書で指定されていたため。
b. コンクリートが富配合で所定のワーカビリティが得られないため。
c. 骨材の品質が悪く所定の品質のコンクリートが得られないため。
d. 単位水量を下げ、品質を向上させるため。
e. 部材厚が薄いため。
f. 配筋が密なため。
g. 長期の流動性確保のため。
h. ファイバーなどの混入材料があったため。
i. 暑中コンクリートとなるため。
j. 発熱量低減のため。
k. 打設時間を短くするため。
l. 打設要員を少なくするため。
m. その他

図-4・3・9 使用目的の分類

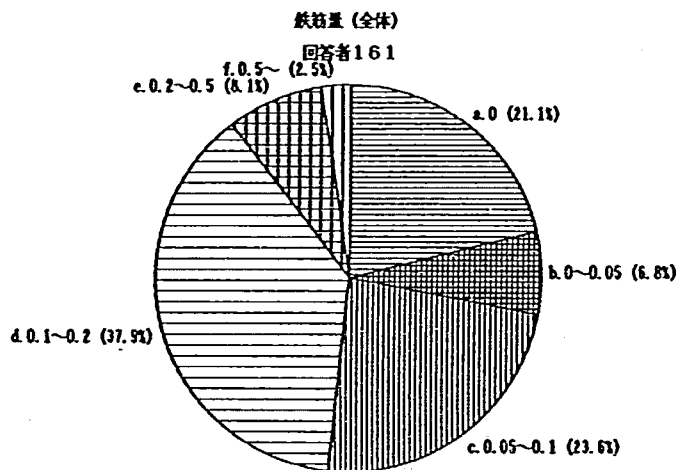


図-4・3・10 鉄筋量の分類

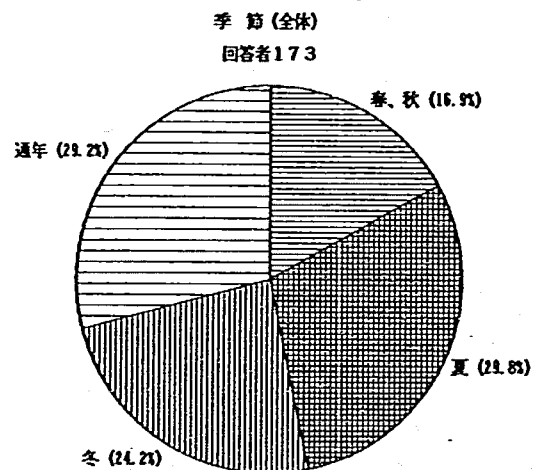


図-4・3・11 打設季節の分類

4. 3. 3 配 合

ここでは、工事に用いた配合について質問した。この結果を図-4.3.12～図-4.3.17に示す。

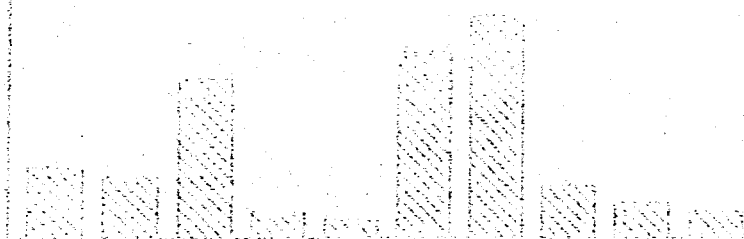
「設計強度」は210, 240 kgf/cm²が多く、昭和62年「コンクリート構造物の施工の実態（土工協、土研）」（以下前報告と略す）と同じ傾向を示す。今回この2者で全体の6割を占めており、前回報告の7割強から若干低下している。これは、今回の調査が流動化コンクリートを対象としたため高強度領域の相対割合が増えたためと思われる。今回300 kgf/cm²以上が2割強（前回報告は1割）となっている。

「水セメント比」は、 $W/C=50\%$ 以下の占める割合が前回報告の2割弱から3割に増加している。これは、前述の「設計強度」の傾向を反映したものと思われる。

「スランプ」は、「流動化剤を使用したコンクリート」で、12cm、15cm、18cmでほぼ3等分され、スランプ増加量も8cm以下が大部分を占めている。ほぼ土木学会の「流動化コンクリート施工指針（案）」に準拠しているようである。一方「高性能AE減水剤を使用したコンクリート」は、スランプが12cmから20cm以上に均等に分布し、「流動化剤を使用したコンクリート」より高スランプ領域に適用されているようである。また20cm以上のスランプの殆どは21cm以下である。

なお、前回報告は、スランプ10cm以下が過半数を占めていたが、今回は1割以下となっており、また前回報告15cm以上2割が5割強となっている。

「単位水量」は、「スランプ」の高スランプ化にも拘わらず、前回報告とほぼ同じ傾向をしめす。近年の骨材事情の悪化を勘案しても配合上の工夫がうかがわれる。これは、「流動化剤を使用したコンクリート」のベースを8cmとしていることが多いことを反映しているであろう。「高性能AE減水剤を使用したコンクリート」「流動化剤を使用したコンクリート」ともほぼ180/m³以下であり、特に前者はより高スランプ域であるにも拘らず単位水量は後者より少ない傾向にある。



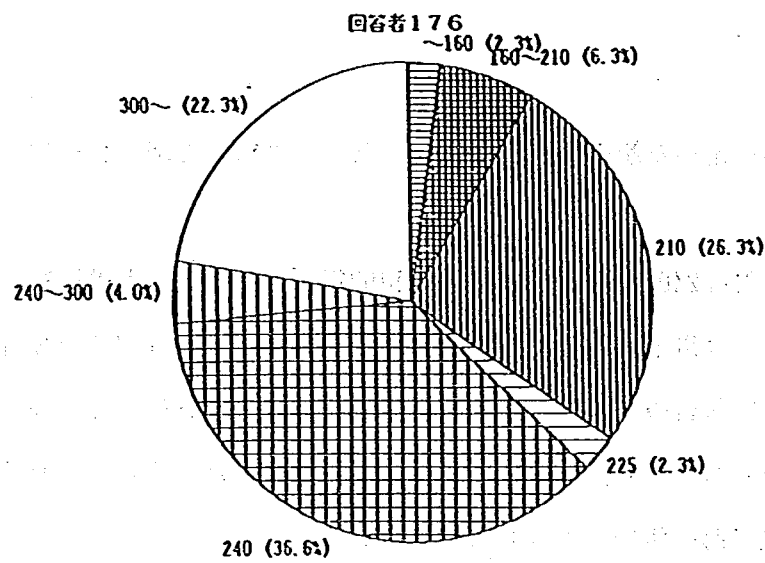


図-4.3.12 打設強度

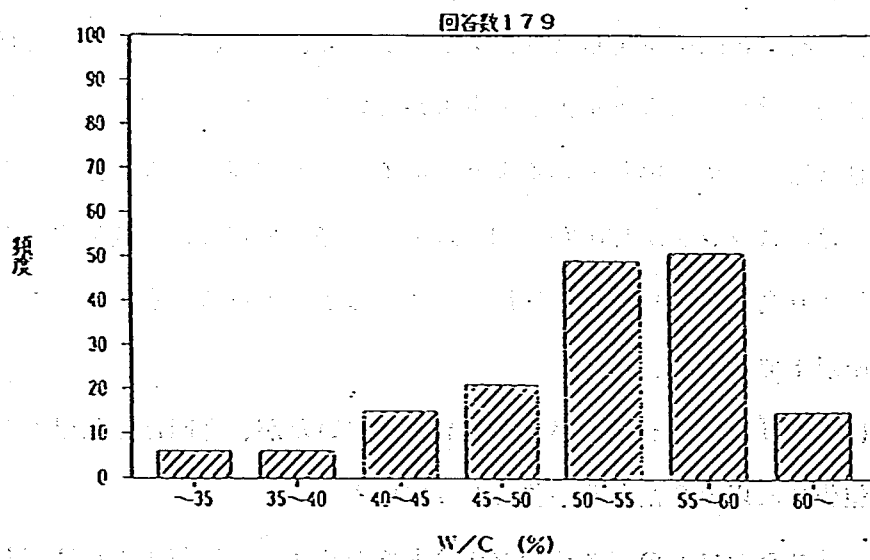


図-4.3.13 水セメント比

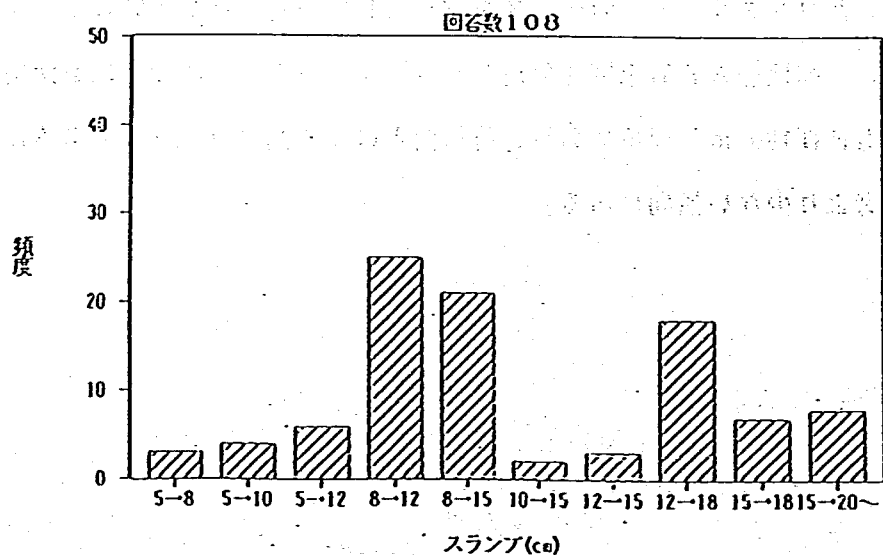


図-4.3.14 “流動化剤を使用したコンクリート”のスランブ

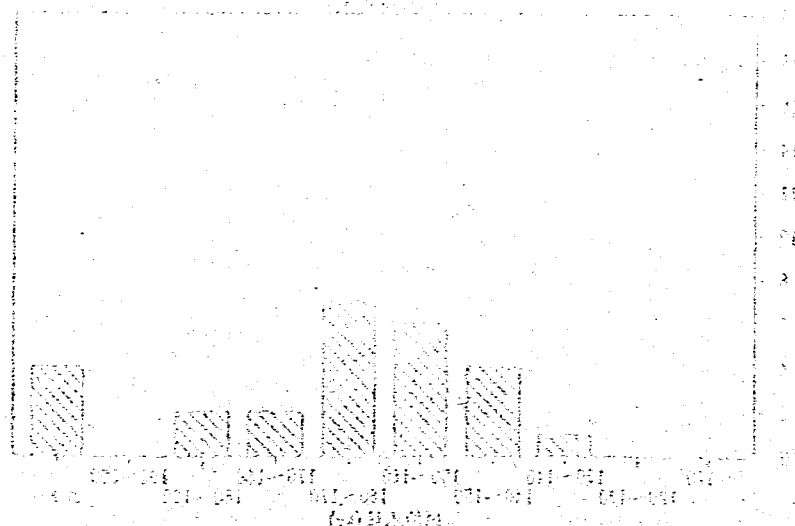
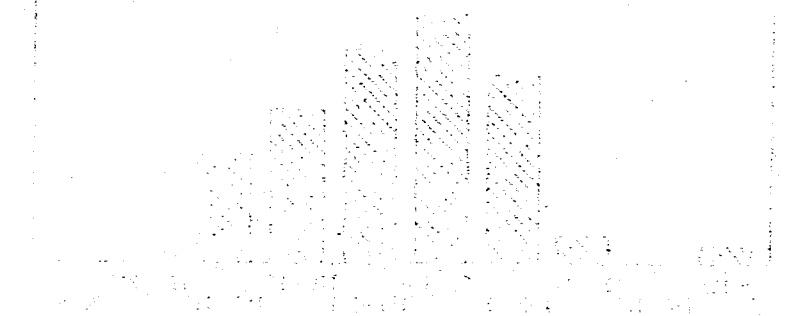
4. 3. 4 コンクリートの製造・打設

ここでは、流動化剤・高性能A E減水剤の添加・攪拌方法、コンクリートの打設方法について質問した。結果を図-4.3.18～図-4.3.21に示す。

「添加場所」は、工場側が3割、現場側が7割となっている。高性能A E減水剤の使用は、2割程度であり、流動化剤のプラント添加が一部認められた。いずれにしろ、近年工場添加が増えてきており施工の合理化、品質管理の面からも、この傾向は強くなるものと思われる。

「攪拌時間」は7割が1分以上としているが一部で短いものが認められた。今後の調査課題となっている。

「運搬方法」は、大部分がコンクリートポンプとなっている前回報告は、シュートが1割強あったが、アンケート調査対象を流動化コンクリートに絞ったためであろう。



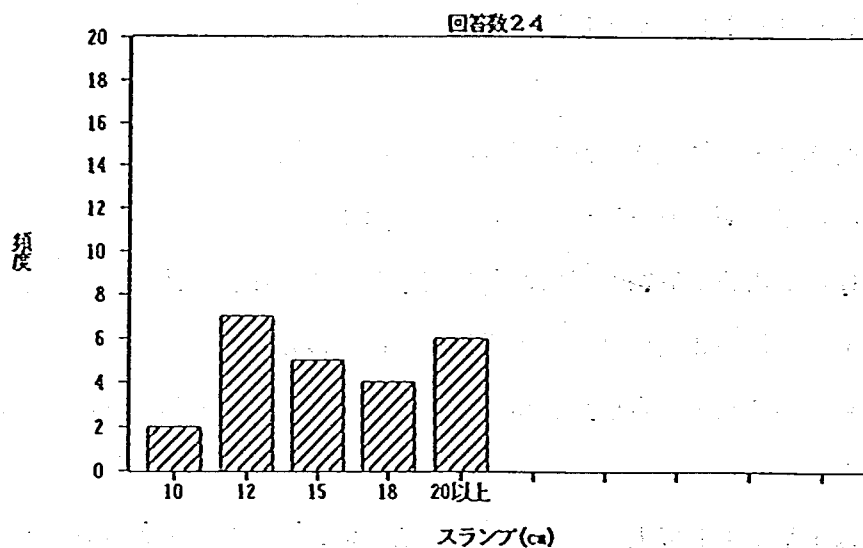


図-4.3.15 “高性能AE減水剤を使用したコンクリート”のスランプ

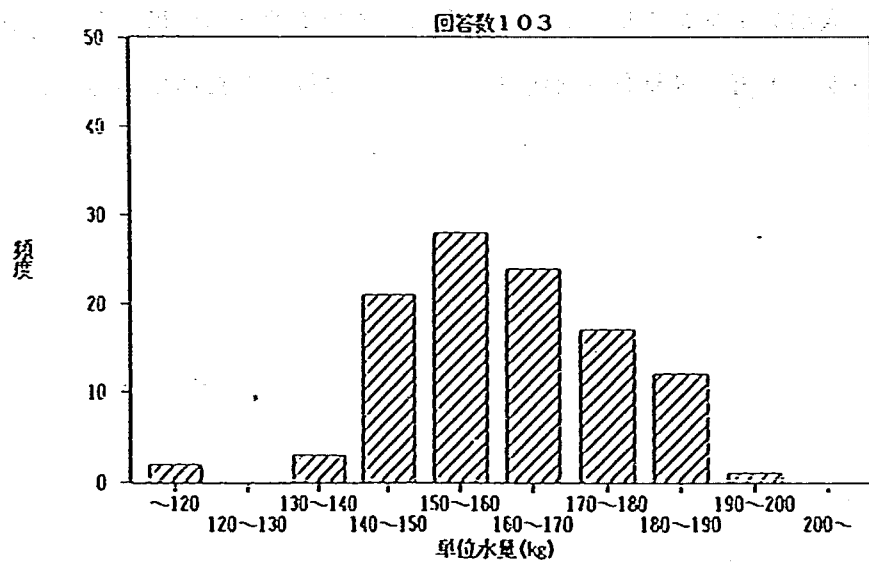


図-4.3.16 “流動化剤を使用したコンクリート”の単位水量

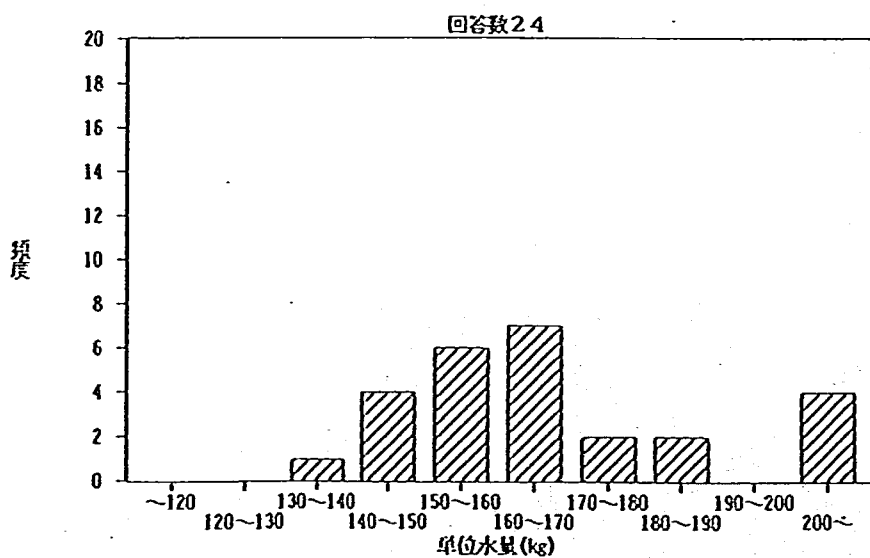


図-4.3.17 “高性能AE減水剤を使用したコンクリート”の単位水量

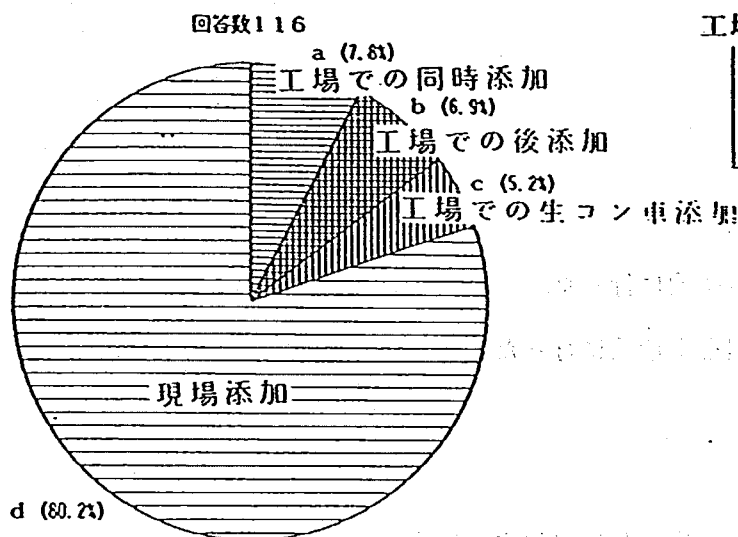


図-4.3.18 “流動化剤を使用したコンクリート”の添加場所

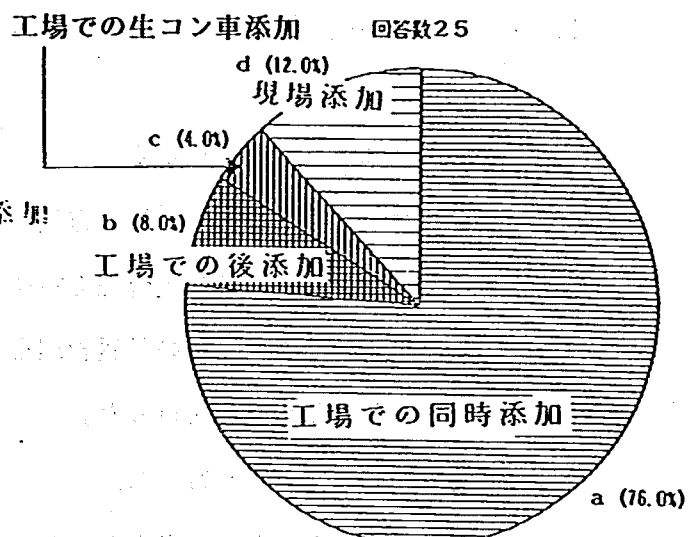


図-4.3.19 “高性能AE減水剤を使用したコンクリート”の添加場所

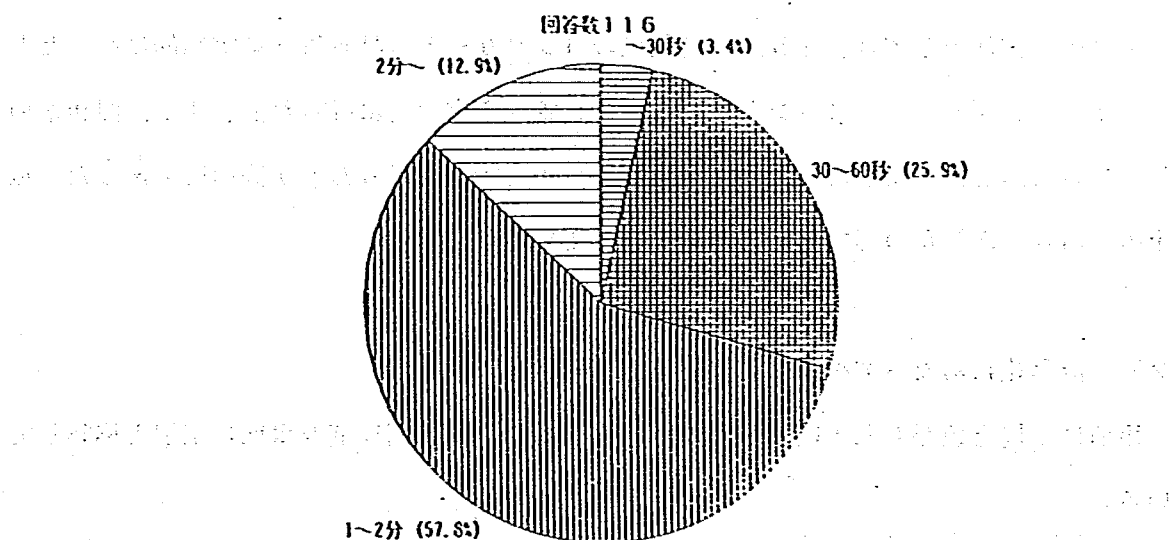


図-4.3.20 “流動化剤を使用したコンクリート”の撈拌時間

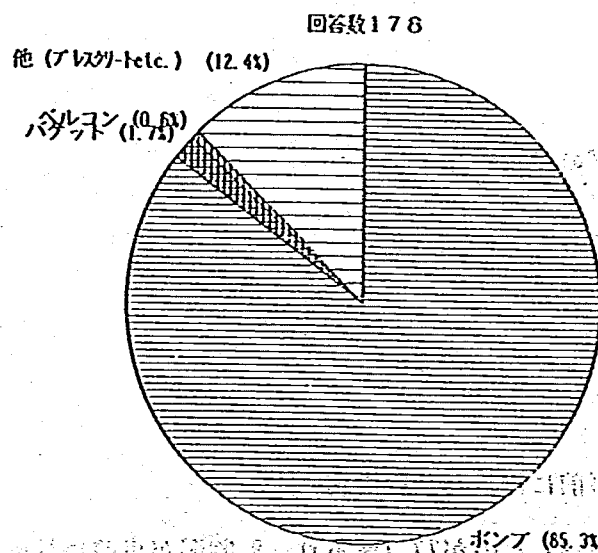


図-4.3.21 打設方法

4. 3. 5 流動化コンクリートの品質管理

結果は、図-4. 3. 22に示す。

1) 流動化コンクリートの品質管理方法

- a. ベースコンクリートの品質管理を定期的に行った。
- b. 流動化後のコンクリートの品質管理を定期的に行った。
- c. 混和剤の添加量の管理を行った。
- d. 常時目視による管理を行った。
- e. 練混ぜ後のコンクリートの水セメント比または単位水量を測定した。
- f. その他の方法

品質管理方法としては、「b. 流動化後のコンクリートの品質管理を定期的に行った」が一番多く、「a. ベースコンクリートの品質管理を定期的に行った」、「c. 混和剤の添加量の管理を行った」及び「d. 常時目視による管理を行った」が同程度であった。以上のとおり、何等かの形で品質管理を実施している。

2) 流動化にあたって事前に工場と協議した内容

事前に工場と協議したと回答したのが81.6%あり、約8割程度が事前に工場と協議している。

協議した内容については多くの事項があるが、それらを要約すれば以下ようになる。

品質管理方法

添加量と攪拌時間

添加方法

運搬等によるスランプの経時変化

流動化後のスランプと強度

工場添加の可否

その他

3) 流動化にあたって事前に行った試験内容

事前に試験を行ったと回答したのが77.1%あり、8割弱が事前に試験を行っている。

試験内容を要約すれば、以下のとおりである。

試験練りにより添加量、スランプ、空気量、凝結時間、圧縮強度

添加量と攪拌時間、スランプと空気量の径時変化

練混ぜ性能試験

現場圧送試験、スランプと空気量の径時変化、硬化コンクリートの品質特性、

モデルによる打込み試験（充填性）

後添加によるスランプの回復

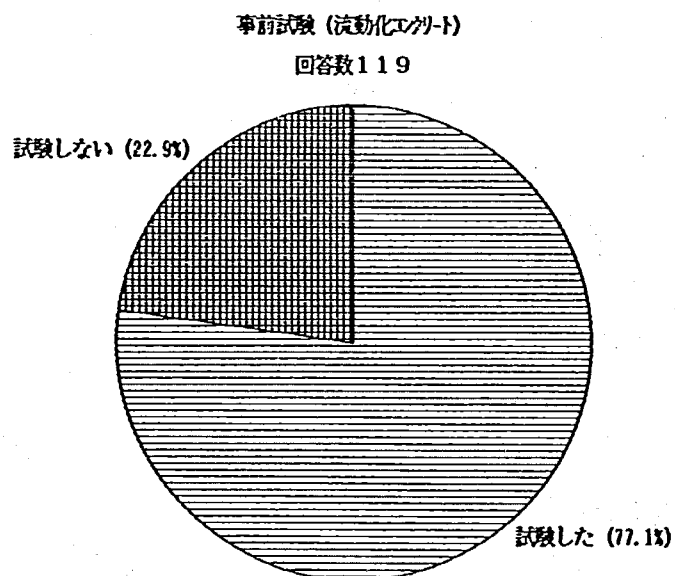
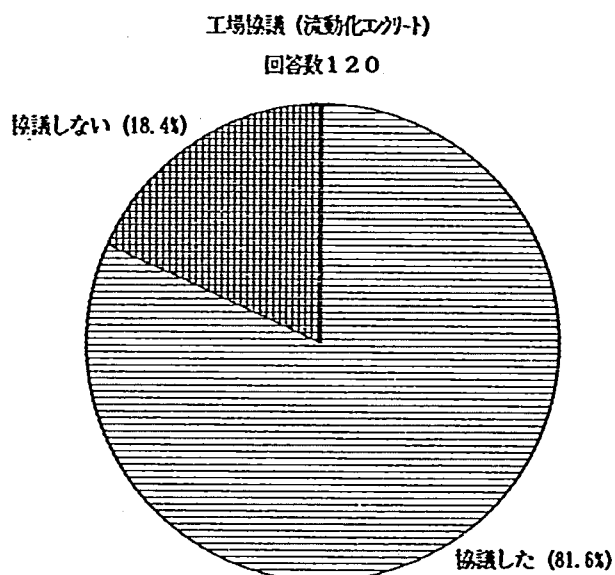
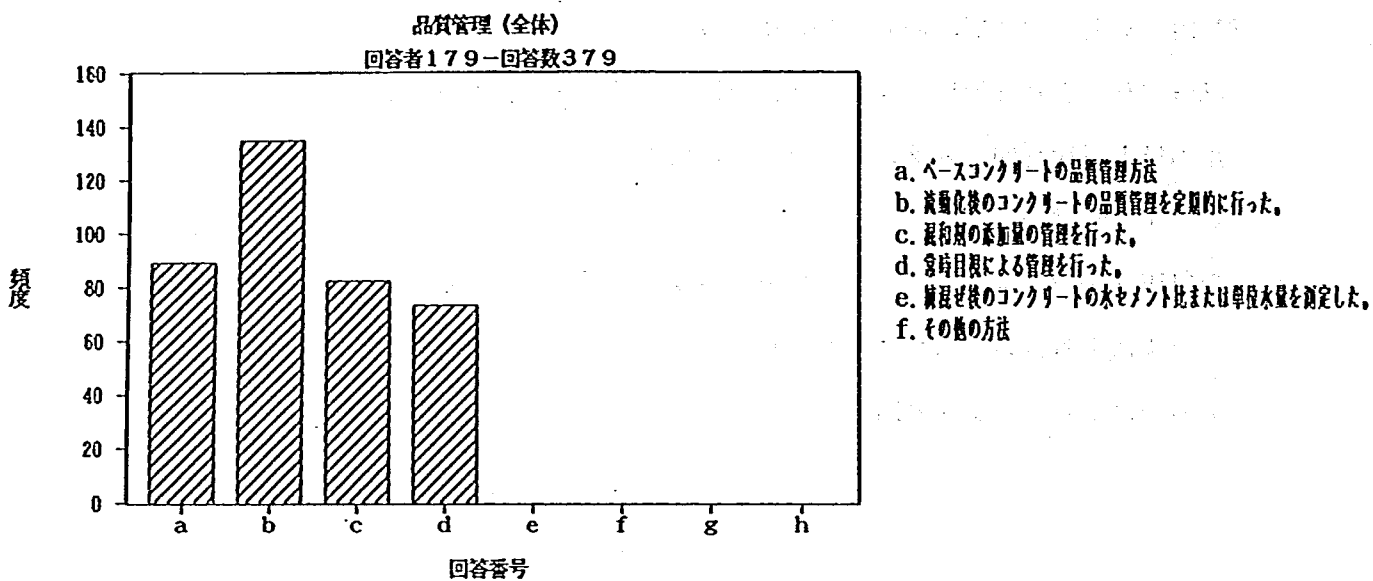


図-4.3.22 品質管理方法

4. 3. 6 流動化コンクリートの使用許可を得るために発注者と協議したか

結果は、図-4. 3. 23に示す。

発注者と協議したと回答したのが80.8%あり、約8割が発注者と協議している。

1) 発注者と協議しなかった理由

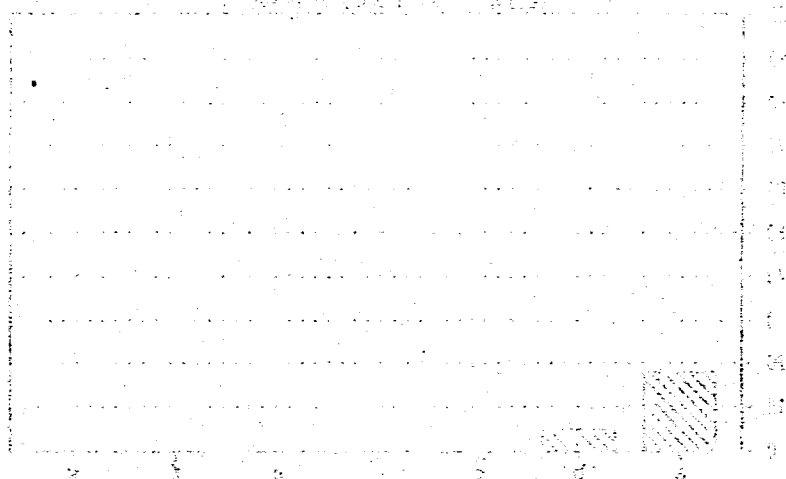
発注者と協議しなかったと回答したのが19.2%であるが、その理由は、「設計図書に仕様が示されていた」ことによるものが多い。

2) 発注者と協議した内容または方法

発注者と協議した内容または方法は、以下のとおりである。

- a. 製造、施工上の課題を示し、解決策として流動化コンクリートの使用を提案した。
- b. 品質上の課題を示し、解決策として流動化コンクリートの使用を提案した。
- c. コンクリートの性能試験を実施した。
- d. その他

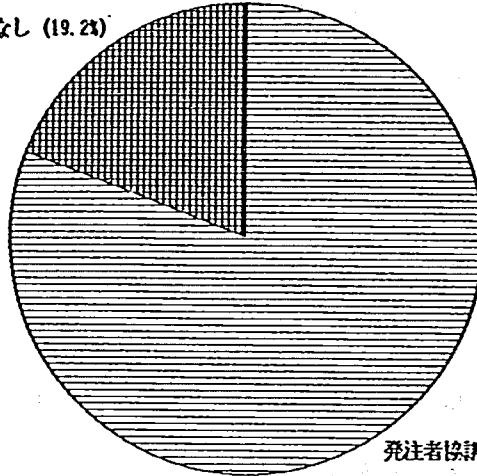
a、b、c、の順番に回答数が多く、dは極くわずかであった。すなわち、製造、施工及び品質上の課題を示し、解決策として流動化コンクリートの使用を提案したケースが多い。



発注者協議（流動化コンクリート）

回答数173

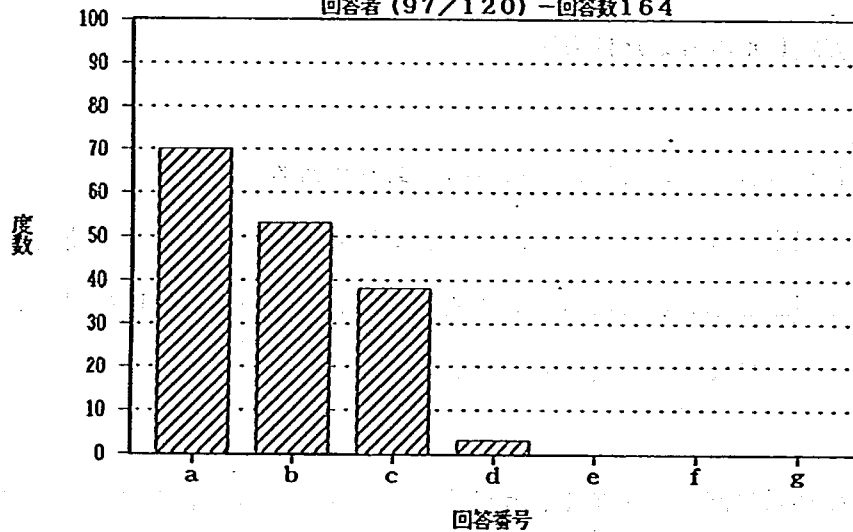
発注者協議なし（19.2%）



発注者協議あり（80.8%）

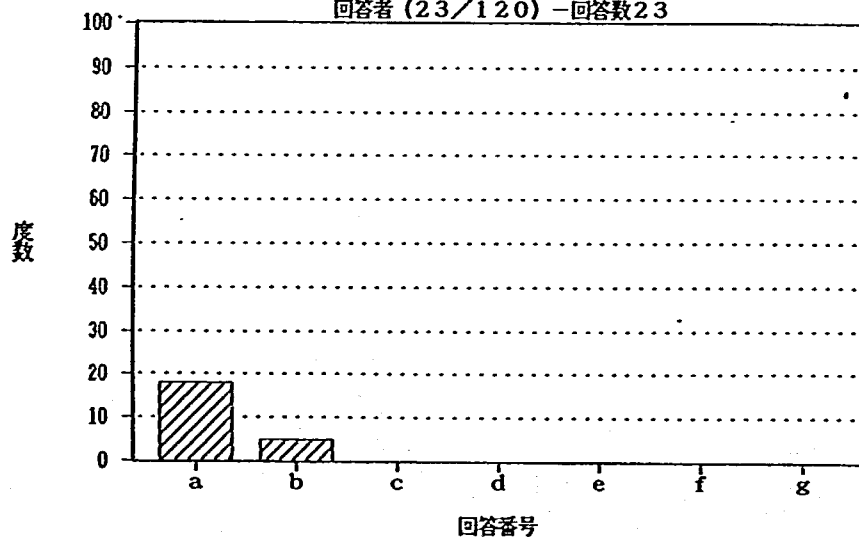
発注者協議あり（流動化コンクリート）

回答者（97/120）－回答数164



発注者協議無し（流動化コンクリート）

回答者（23/120）－回答数23



- a. 製造、施工上の課題を示し、解決策として流動化コンクリートの使用を提案した。
- b. 品質上の課題を示し、解決策として流動化コンクリートの使用を提案した。
- c. コンクリートの性能試験を実施した。
- d. その他

図－4.3.23 発注者との協議の有無及びその理由

4. 3. 7 流動化コンクリート使用による効果

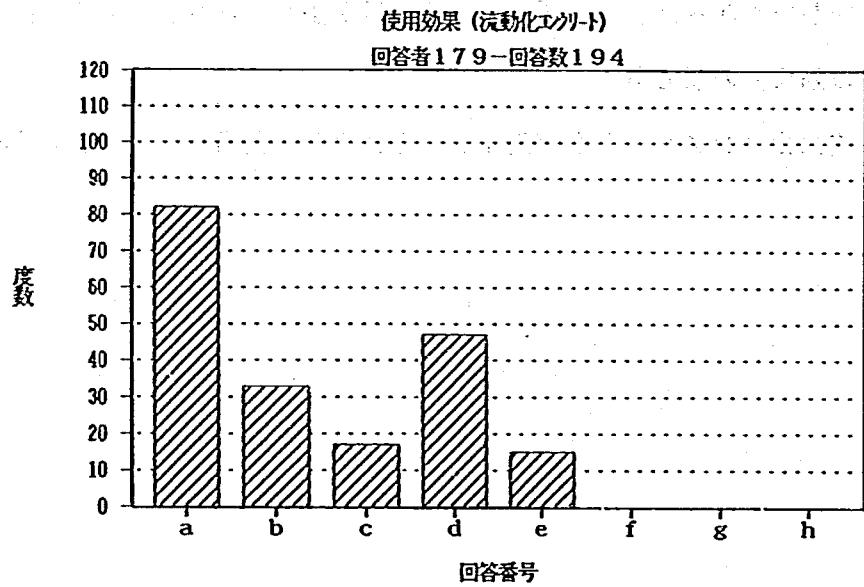
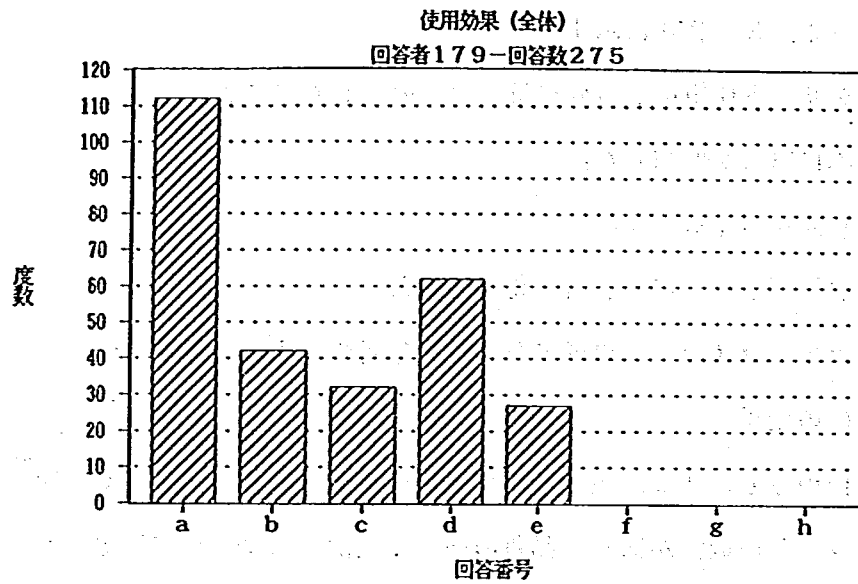
結果は、図-4. 3. 24に示す。

流動化コンクリート使用による効果は、以下のとおりである。

- a. 施工不良箇所が低減した。
- b. 打設時間が短くなった。
- c. 打設要員が少なくなり、省力化が図れた。
- d. 単位水量、セメント量の低減が図れ、品質の向上、発熱量の低下が実施できた。
- e. その他の効果

これらの理由のうち、「a. 施工不良箇所が低減した。」が一番多く、次いで「d. 単位水量、セメント量の低減が図れ、品質の向上、発熱量の低下が実施できた。」、以下「b. 打設時間が短くなった。」、「c. 打設要員が少なくなり、省力化が図れた。」、「e. その他の効果」の順である。

すなわち、流動化コンクリートを使用することにより、品質が向上し、省力化の効果が得られている。



- a. 施工不良箇所が低減した。
- b. 打設時間が短くなった。
- c. 打設要員が少なくなり、省力化が図れた。
- d. 単位水量、セメント量の低減が図れ品質の向上、発熱量の低下が実施できた。
- e. その他の効果

図-4.3.24 流動化コンクリート使用による効果

4. 3. 8 今後、流動化コンクリートを積極的に使用したいか

結果は、図-4. 3. 25に示すとおり、使用していきたいと回答したのが65%あり、全体で見ると（高性能AE減水剤、特殊水中コンクリート、締固め不要コンクリートを含めると）71.7%である。すなわち、7割程度が「今後、流動化コンクリートを積極的に使用したい」としている。

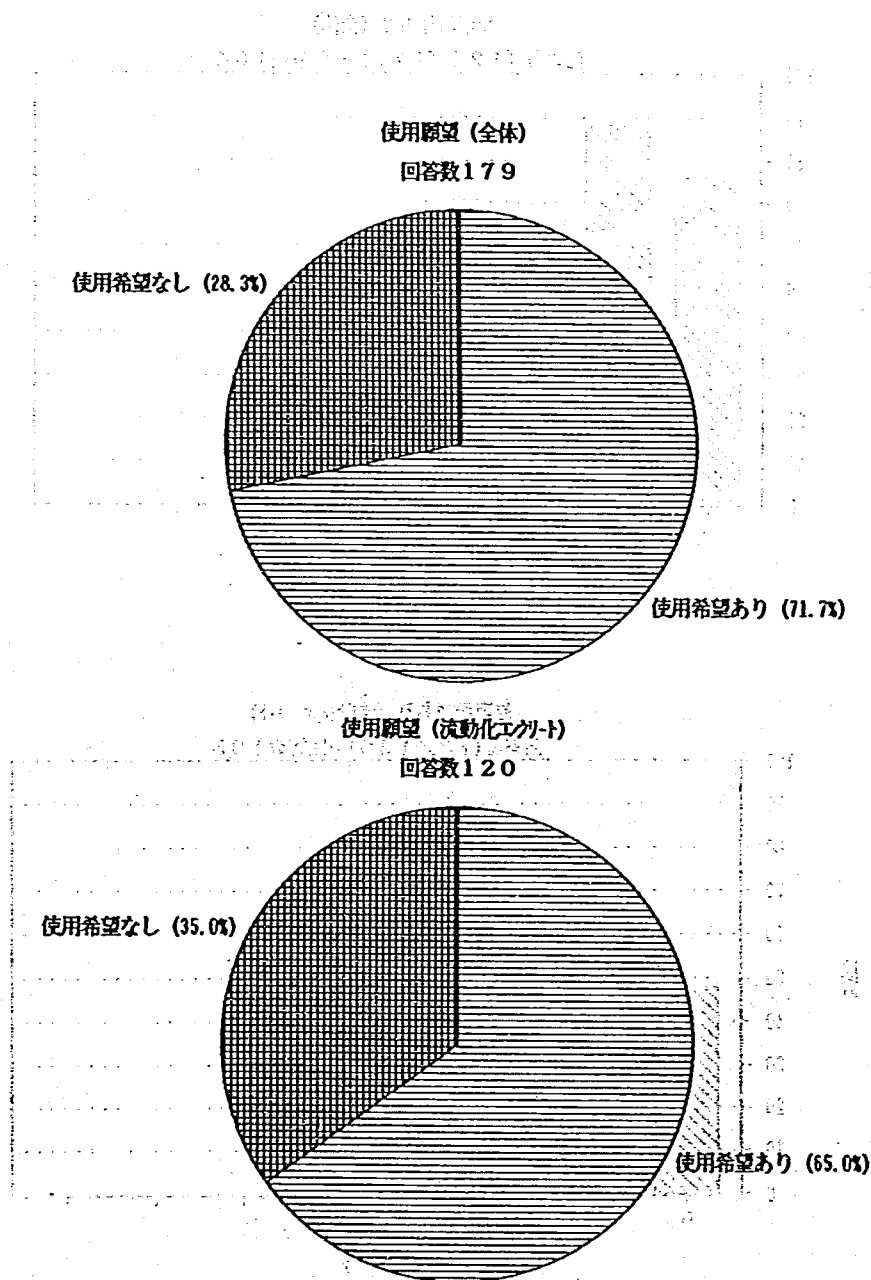


図-4.3.25 流動化コンクリート使用願望の有無

1) 今後、流動化コンクリートを積極的に使用したい理由

結果は、図-4.3.26に示す。

流動化コンクリートを積極的に使用したい理由は、以下のとおりである。

- a. コンクリート工事の施工性が向上し、打設要員の削減、工期の短縮が図れる。
- b. コンクリート構造物の品質が向上する。

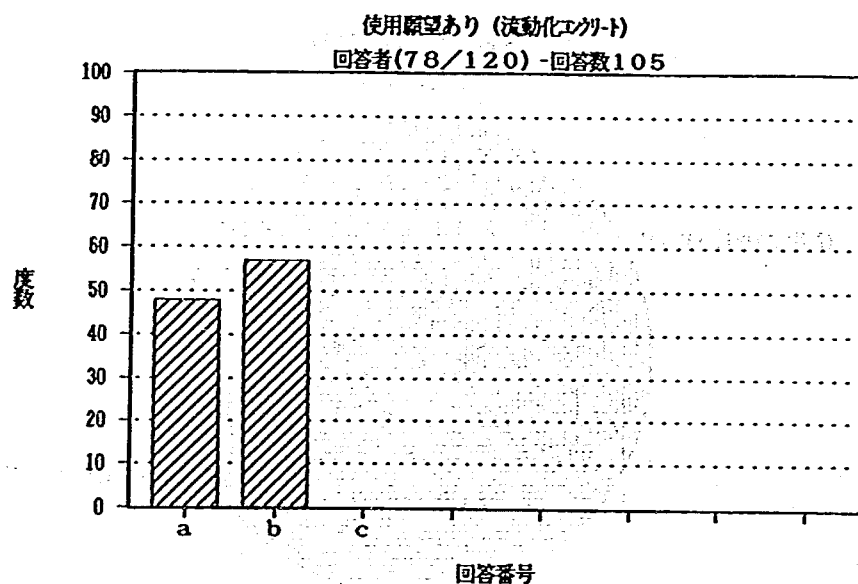
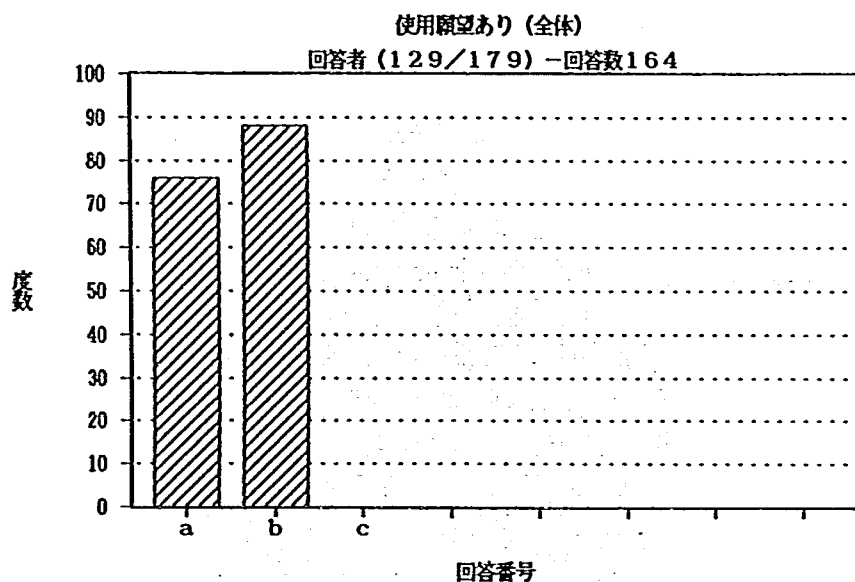


図-4.3.26 流動化コンクリートを積極的に使用したい理由

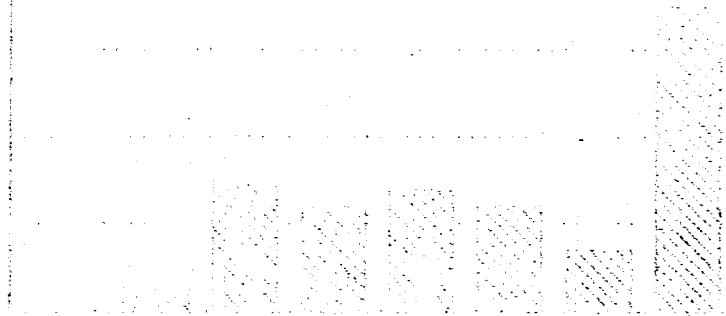
2) 今後、流動化コンクリートをあまり使用したくない理由

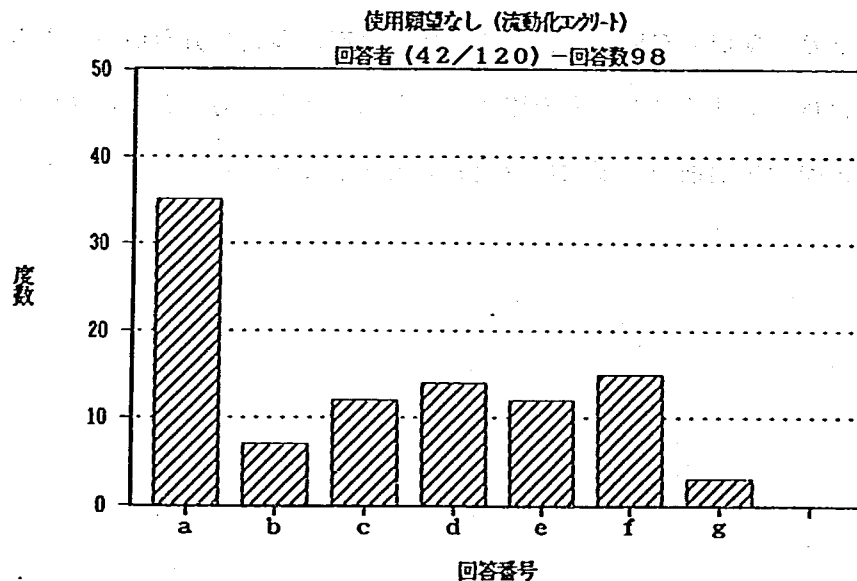
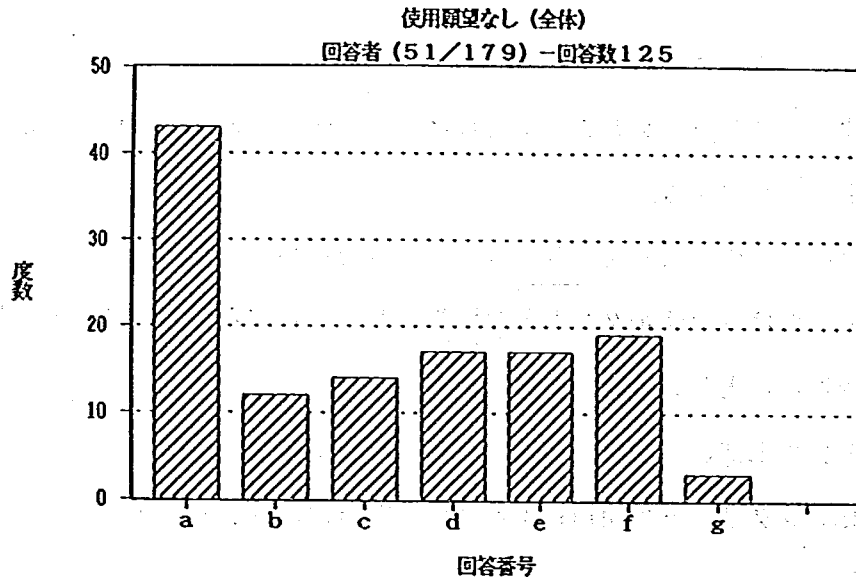
結果は、図-4. 3. 27に示す。

流動化コンクリートをあまり使用したくない理由は以下のとおりである。

- a. コスト増につながる。
- b. 工場との調整や事前検討に多大な時間と労力が必要とされる。
- c. 発注者またはコンサルタントとの協議に多大な時間と労力が必要とされる。
- d. 品質管理に多大な労力が必要とされる。
- e. 打設要員の削減、工期の短縮、にあまりつながらない。
- f. 流動化コンクリートの使用による効果を定量的に評価できない。
- g. その他

これらの理由のうち、「a. コスト増につながる。」が一番多く、次いで「f. 流動化コンクリートの使用による効果を定量的に評価できない。」、「e. 打設要員の削減、工期の短縮、にあまりつながらない。」、「d. 品質管理に多大な労力が必要とされる。」、「c. 発注者またはコンサルタントとの協議に多大な時間と労力が必要とされる。」、「b. 工場との調整や事前検討に多大な時間と労力が必要とされる。」の順番である。





- a. コスト増につながる。
- b. 工場との調整や事前検討に多大な時間と労力が必要とされる。
- c. 発注者またはコンサルタントとの協議に多大な時間と労力が必要とされる。
- d. 品質管理に多大な労力が必要とされる。
- e. 打設要員の削減、工期の短縮にあまりつながらない。
- f. 流動化コンクリートの使用による効果を定量的に評価できない。
- g. その他

図－4.3.27 流動化コンクリートをあまり使用したくない理由

4. 3. 9 流動化コンクリート使用上の留意点・提案

流動化コンクリート使用上の留意点・提案を要約すれば、以下のとおりである。

1) 流動化コンクリート使用上の留意点

- a. 流動化剤とベースコンクリートに使用する混和剤との適合性について事前の検討が必要である。
- b. 流動化剤には、不明な点が多く過信しすぎないこと、例えば、過剰添加した場合の悪影響を作業員に十分認識させること。
- c. コンクリートの性状が通常のコンクリートと異なる。すなわち、流動性が良くなるため、1箇所で打込むと型枠がハラム等の問題が発生する。打込み方法（順序）、締固めの重要性等、職員、作業員の意識を新たにすること。
- d. コンクリートの品質（特にコンシステンシー）がバラツキ易いため、添加量の管理が重要である。
- e. 夏期施工は、流動化コンクリートと言え、スランプの変動が大きいため、配車計画、打設計画を十分に練らなければならない、打設までの時間管理を確実に行う必要がある。
- f. 型枠の側圧が大きくなるため、型枠の強度の検討を充分行う必要がある。
- g. ベースコンクリートと流動化コンクリート双方での品質管理が必要であり、試験に要する労力及び費用が多くなる。
- h. 特殊水中コンクリートの場合、型枠組立て（水密性）に細心の注意を要する（コンクリート流出防止）。また、型枠の強度の事前検討を充分行う必要がある（型枠の破壊防止）。

2) 流動化コンクリートに関する意見・提案

- a. 流動化コンクリートを使用することにより、品質が向上し、施工の合理化、省力化にもつながるが、積算以上の費用が発生するため（コンクリートの単価が高くなる）積算基準の見直しを願いたい。
- b. 硬いコンクリートが高品質であるとの概念を捨て、さらに、施工環境の現状（作業者の質、環境問題）を考慮し、発注者が使用の必要性を理解し、設計段階で積極的

に流動化コンクリートの使用を提示してほしい。設計図書、仕様書等に流動化コンクリートを使用する対象構造物を示すべきである。つまり、指針の整備、ルール作りが必要である（部材形状、最少断面、鉄筋量、打設方法）。

- c. 所要のスランブを得るための流動化剤の添加量の決定に時間と手間がかかるため、添加量の管理の簡素化が望まれる（スランブ即時判定試験機の開発）。
- d. 流動化コンクリートは、ベースコンクリートと流動化剤の混合状態を確認できないこと、スランブ変動が大きいこと、などのため、スランブロスを大幅に低減できる高性能A E減水剤を工場添加する方が、所定の品質を確保しやすい。
- e. 流動化コンクリートは、別注品扱い（ベースコンクリートはJ I S製品：規格品）であり、生コン会社では責任を持っていない。流動化剤の信頼性が一般化され（J I S製品）、生コン会社で管理できるようになれば、品質管理の労力軽減できる。
- f. 高性能A E減水剤を使用する場合（高強度を確保するため：P C斜長橋タワー）、コンクリートの性状が締固め不要コンクリート、または、特殊水中コンクリートに似ており、通常の流動化コンクリートと異なった管理が要求された（スランブフローで管理）。簡便で、有効な品質管理方法を開発し、体系付けてほしい。

4.3.10 適正スランプ

コンクリート工事におけるコンクリートの設計スランプは、構造物の種類や施工条件(部材寸法、配筋状況)、およびコンクリートの配合条件などによって定まり、事前に設定されている。しかし、このスランプが場合によっては、実状と合致しないことがある。

構造物の所定の品質を確保し、かつ合理化施工を行うためには、構造物の種類や、部材の状況により、適正なスランプがあると考えられる。これら適正スランプについて議論するうえで、現在施工されている工事の、施工スランプを調査し、さらに設定スランプが、施工上実状にそぐわなかった事例と、適正と考えられるスランプについて意見を求めた。

1) 施工スランプ実態調査

アンケートは、過去5年間の施工実績より、工事における構造物の種類、部材の種類、鉄筋量、施工スランプについて質問した。

① 構造物の種類と施工スランプ

分類した構造物の種類と記号は次のとおりであり、調査結果は、表-4.3-1~2 および図-4.3-28 に示すとおりである。

- | | |
|---------------------|--------------------|
| a ; トンネルおよびシールドの覆工 | e ; 擁壁 |
| b ; 梁・柱・床構造物…例えば処理場 | f ; ボックスカルバート |
| c ; 橋梁(桁) | g ; ダム(本体および付属構造物) |
| d ; 橋脚、橋台、橋柱 | h ; その他 |

回答数463に対する構造物の種類の内訳は、ダム(4.1%)が少なく、梁柱床構造物(26.3%)がやや多いが、他の構造物は8%~15%で平均している。なお、その他の構造物には、杭、基礎、連続地中壁、ケーソンなどがある。

構造物の種類と施工スランプの調査集計結果によると、ダム工事では68.4%がスランプ8 cm以下で施工しているが、これらはいずれもダム本体コンクリートと考えられる。

トンネル工事では、スランプ8 cmのコンクリートも一部(13.5%)使用されているが、全体としては、12cm~18cmのものが平均して使用されている。とくに、スランプ18cmのものが30.8%と他の構造物に比較して多いことが特徴である。

その他の構造物では、杭や連続地中壁など水中コンクリート工事が含まれているために、高スランプのコンクリートが使用されていると考えられる。

その他の構造物を除く、他の構造物では、スランプ12cm以下のやや固練りコンクリートが全体の80%以上であり、構造物の種類による特徴は明確でない。

これは、土木構造物では、構造物の種類によって、部材の断面や形状寸法が大きく変わることが少なく、また、全体的に断面寸法が大きいことから、構造物の種類に係らず、固練りのコンクリートが使用されていると考えられる。

② 部材の種類と施工スランプ

分類した部材の種類と記号は次に示すとおりである。また、調査結果は 表-4.3-3~4 および 図-4.3-29 に示すとおりである。

- | | |
|----------------|--------------|
| a ; 梁(桁)部材 | d ; 床(スラブ)部材 |
| b ; 柱部材(橋脚も含む) | e ; マス構造物 |
| c ; 壁部材(覆工も含む) | f ; その他 |

データ数464に対する部材の種類は、覆工を含む壁部材が(38.8%)最も多く、次いで床スラブ(20.1%)、柱部材(14.2%)、梁部材(13.6%)、マス構造物(11.4%)である。

部材の種類と施工スランプについての調査結果によると、梁・桁部材でスランプ18cmの軟練りコンクリートが22.2%、覆工・壁部材でスランプ18cmが11.7%、20cm以上が5.0%と、一部の部材で高スランプのコンクリートが使用されている。しかし全般的に見ると、部材の種類による施工スランプの明確な差はない。これらの結果は、部材の種類の変化によって、断面形状の変化することが少ないこと、および全般に固いコンクリートを使用しているためと考えられる。梁・桁部材で高スランプのコンクリートが他に比較して多く使用されているのは、梁と柱・壁などの接合点の施工性を考慮したものと考えられる。

③ 鉄筋量と施工スランプ

分類した鉄筋量($t\ on/m^2$)と記号は次のとおりである。また、調査結果は 表-4.3-5~6 および 図-4.3-30 に示すとおりである。

- | | |
|--------------|-------------|
| a ; 0(無筋) | d ; 0.1~0.2 |
| b ; 0~0.05 | e ; 0.2~0.5 |
| c ; 0.05~0.1 | f ; 0.5以上 |

データ数412に対する鉄筋量の内訳は、0.05~0.1が28.6%、0.1~0.2が38.8%となり、一般的な鉄筋コンクリート構造物である。また無筋構造が12.9%であった。

鉄筋量と施工スランプについては、明確な傾向は見られなかった。これは、コンクリート m^3 中の鉄筋量の多寡は、使用鉄筋の径や配筋の状況により、コンクリートの充填性や施工性には直接影響されないためであろう。

表-4.3-1 構造物の種類と施工スランプ

施工スランプ		構 造 物 種 類							
ランク	総数	a	b	c	d	e	f	g	h
8 以下	182	7	33	25	41	22	32	13	9
10	51	1	9	17	6	5	8	2	3
12	148	15	58	4	18	10	24	2	17
15	36	9	10	0	4	1	2	1	9
18	35	16	11	2	1	1	0	1	3
20以上	11	4	1	0	0	0	0	0	6
計	463	52	122	48	70	39	66	19	47

a ; トンネル、シールド工
b ; 梁、柱、床構造物(処理場など)
c ; 橋梁(桁)
d ; 橋脚、橋台、橋柱
e ; 壁
f ; ボックスカルパート
g ; ダム
h ; その他

表-4.3-3 部材の種類と施工スランプ

施工スランプ		部 材 種 類					
ランク	総数	a	b	c	d	e	f
8 以下	177	25	31	54	39	24	4
10	42	5	4	15	11	7	0
12	154	14	23	66	36	14	1
15	36	5	4	15	5	5	2
18	43	14	3	21	1	3	1
20以上	12	0	1	9	1	0	1
計	464	63	66	180	93	53	9

a ; 梁(桁)部材
b ; 柱部材(橋脚も含む)
c ; 壁部材(壁工も含む)
d ; 床(スラブ)部材
e ; マス構造物
f ; その他

表-4.3-5 鉄筋量と施工スランプ

施工スランプ		鉄 筋 量					
ランク	総数	a	b	c	d	e	f
8 以下	162	18	20	43	60	15	6
10	40	5	4	17	11	3	0
12	138	9	12	43	61	6	7
15	31	5	2	9	10	3	2
18	31	12	0	4	15	0	0
20以上	10	4	1	2	3	0	0
計	412	53	39	118	160	27	15

a ; 0(無筋)
b ; 0~0.05
c ; 0.05~0.1
d ; 0.1 ~0.2
e ; 0.2 ~0.5
f ; 0.5以上

図-4.3-28 構造物の種類と施工スランプ

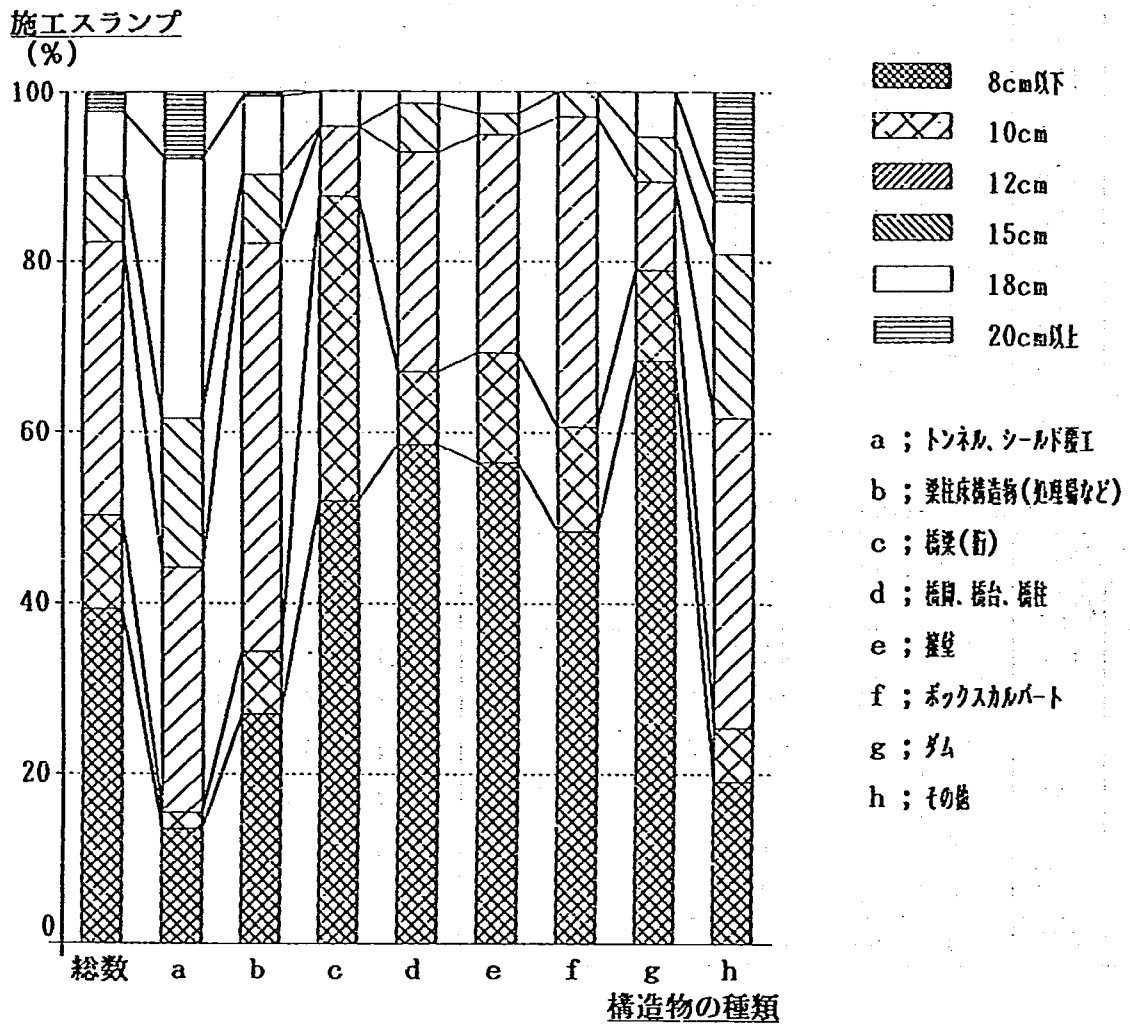


表-4.3-2 構造物の種類と施工スランプ(%)

施工スランプ		構 造 物 種 類							
ランク	総数	a	b	c	d	e	f	g	h
8 以下	39.3	13.5	27.0	52.1	58.6	56.4	48.5	68.4	19.1
10	11.0	1.9	7.4	35.4	8.6	12.8	12.1	10.5	6.4
12	32.0	28.8	47.5	8.3	25.7	25.6	36.4	10.5	36.2
15	7.8	17.3	8.2	0	5.7	2.6	3.0	5.3	19.1
18	7.5	30.8	9.0	4.2	1.4	2.6	0	5.3	6.4
20以上	2.4	7.7	0.8	0	0	0	0	0	12.8
計	100	11.2	26.3	10.4	15.1	8.4	14.3	4.1	10.2

図-4.3-29 部材の種類と施工スランプ

施工スランプ
(%)

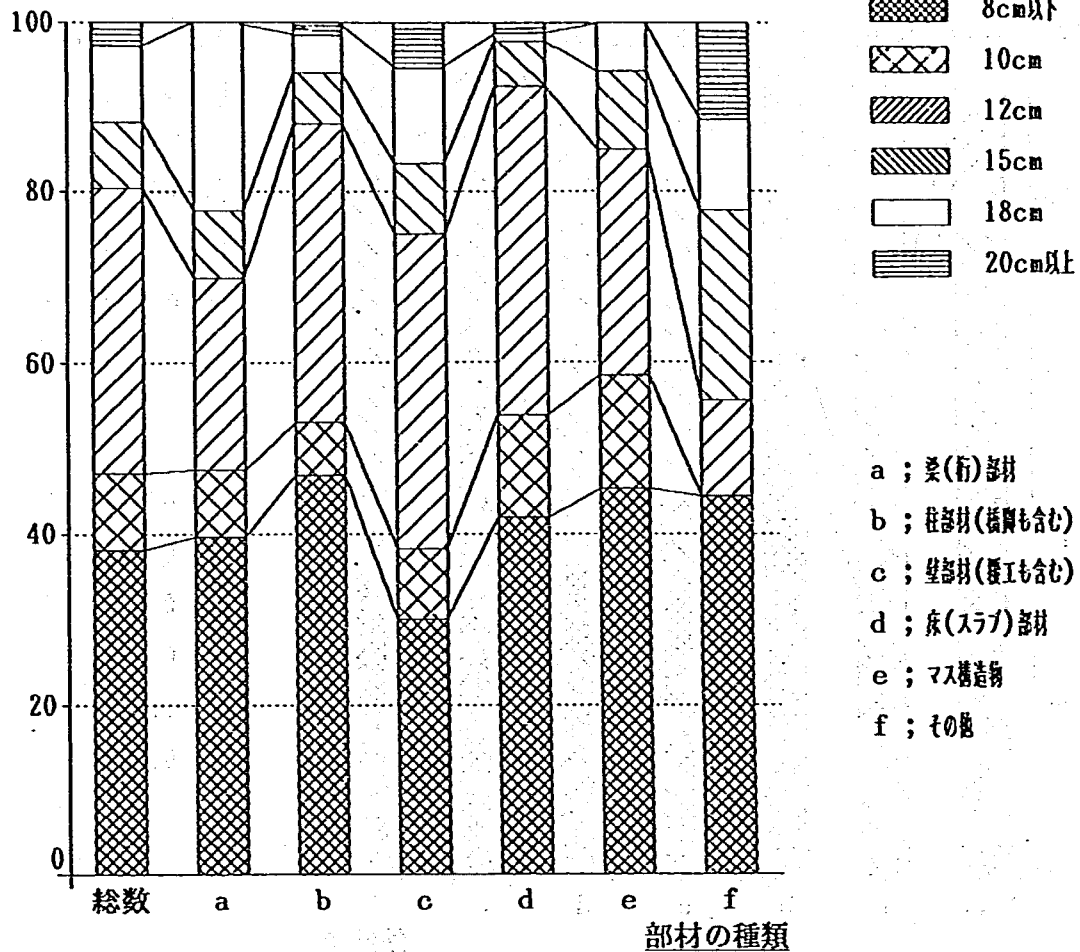


表-4.3-4 部材の種類と施工スランプ(%)

施工スランプ		部 材 種 類					
ラック	総数	a	b	c	d	e	f
8 以下	38.1	39.8	47.0	30.0	41.9	45.3	44.5
10	9.0	7.9	6.1	8.3	11.8	13.2	0
12	33.2	22.2	34.8	36.7	38.7	26.4	11.1
15	7.8	7.9	6.1	8.3	5.4	9.4	22.2
18	9.3	22.2	4.5	11.7	1.1	5.7	11.1
20以上	2.6	0	1.5	5.0	1.1	0	11.1
計	100	13.6	14.2	38.8	20.1	11.4	1.9

図-4.3-30 鉄筋量と施工スランプ

施工スランプ
(%)

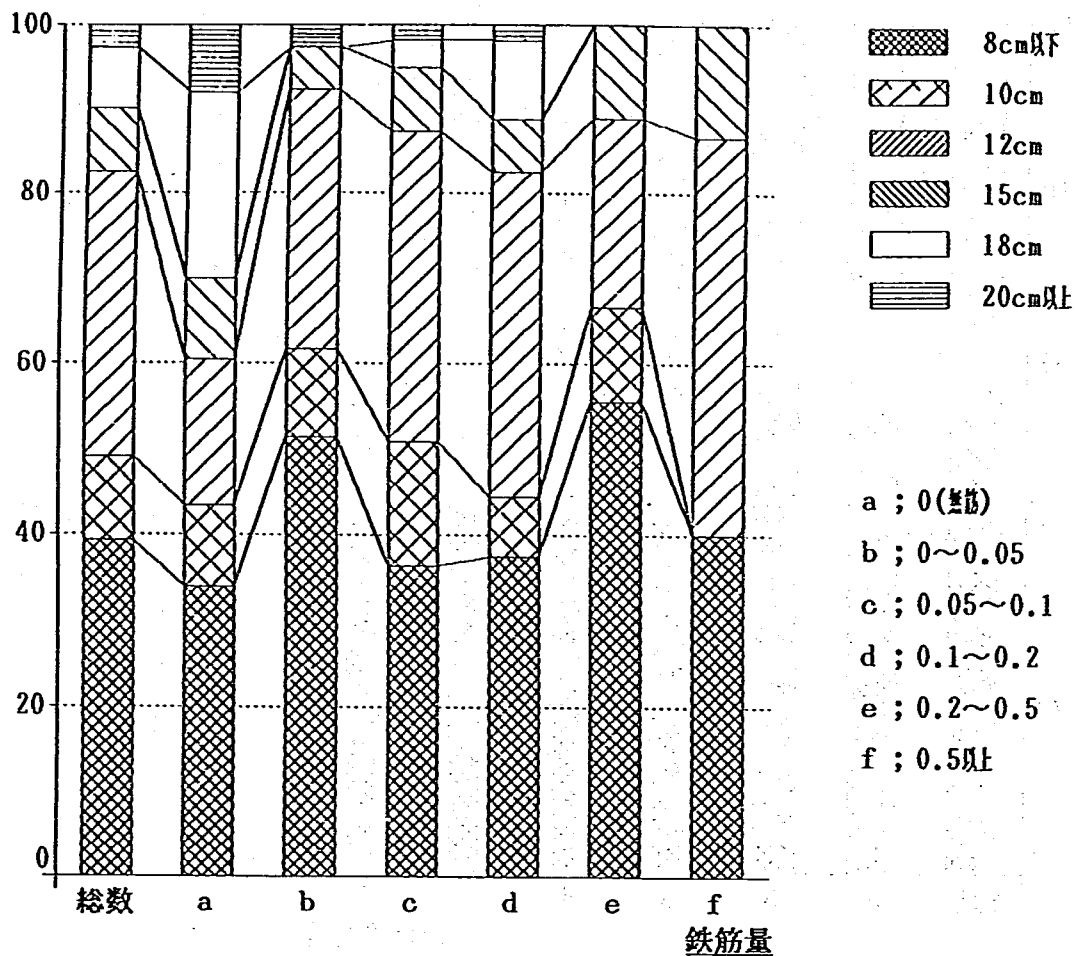


表-4.3.6 鉄筋量と施工スランプ(%)

施工スランプ		鉄筋量					
ランク	総数	a	b	c	d	e	f
8 以下	39.3	34.0	51.3	36.4	37.5	55.6	40.0
10	9.7	9.4	10.2	14.4	6.9	11.1	0
12	33.5	17.0	30.8	36.4	38.1	22.2	46.7
15	7.5	9.4	5.1	7.7	6.2	11.1	13.3
18	7.5	22.7	0	3.4	9.4	0	0
20以上	2.5	7.5	2.6	1.7	1.9	0	0
計	100	12.9	9.5	28.6	38.8	6.6	3.6

2) 設計スランプが実状に合わなかった事例および、適正と考えたスランプ

工事において、設計スランプが施工上実状に合わなかった事例とその理由、および適正と考えたスランプと、変更の有無について調査した。調査結果を表-4.3-7に示す。

表-4.3-7 実状に合わなかったスランプと適正スランプ

設計 スランプ	総数	適正と考えたスランプ							変 更		実状に合わなかった理由								
		5以下	8	10	12	15	18	20	有	無	a	b	c	d	e	f	g	h	i
5以下	8		4	2	2				8	0	2	1	2	1	0	1	2	0	1
8	79			13	43	16	6	1	45	34	52	32	7	2	11	16	1	0	10
10	4				2	2			2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0
12	35		1	2		13	19		20	15	20	9	5	1	8	4	0	1	6
15	11						8	3	6	5	7	3	1	0	3	1	2	0	1
18	4							4	3	1	2	1	2	0	1	0	2	0	0
合計	141								84	57	87	48	17	4	23	22	7	1	18

実状に合わなかった理由は次のとおりである。

- 設計スランプが構造物の配筋状態、部材形状、施工方法、施工環境に適合しなかった。
- 部分的に混んだ配筋や、薄い部材があった。
- 材料の品質が悪く、設計スランプでは、所定のワーカビリティの確保が困難であった。
- 特殊な材料・施工法を用いた。
- 施工の特徴上、コンクリートを横移動する必要があった。
- 通年の工事で、同一のスランプでも季節によってワーカビリティが異なった。
- 指定された施工方法と実際の施工方法が異なった。
- 設計変更により、構造物の一部が変更された。
- その他

これらの結果によると、施工上実状に合わなかった事例は、141件あり全体の30%に相当する。この内、56%がスランプ8cmであり、25%がスランプ12cmのコンクリートである。

その理由については、配筋状況や部材の形状により、コンクリートの充填が困難であるためとするものが、60%以上を占めている。また、スランプ8cmのコンクリートでは、コンクリートの横移動(e)、季節によるワーカビリティの変化(f)、を理由とするものがあった。

これらのコンクリートに対して、適当と考えるスランプは、1～2ランク上のものを望ましいとしているが、スランプ8cmでは、20%が15cmを適正と考えている。

スランプの変更については、約60%が認められているが、変更の有無と、構造物の種類や部材の種類、および設計スランプとの差、等との関係については明確でない。

調査結果を、図-4.3-31～32に示す。

図-4.3-31適正スランプ

8cm 10cm 12cm 15cm 18cm 20cm以上

適正スランプ

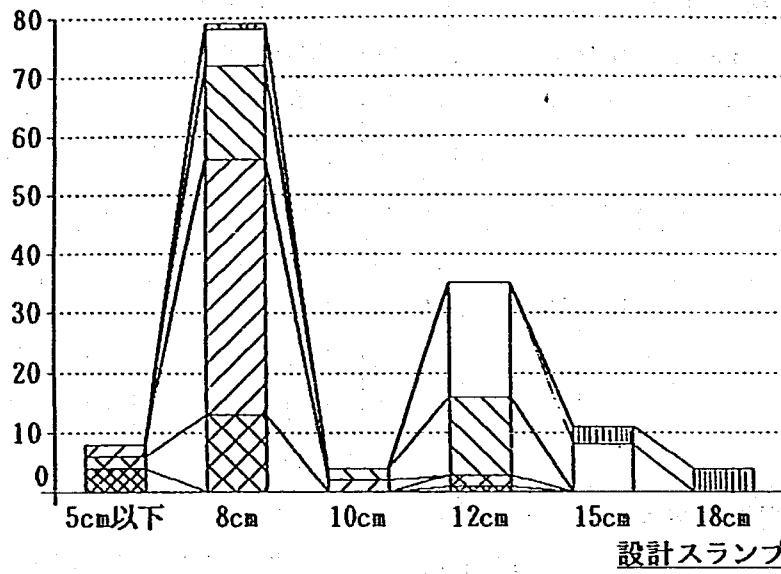
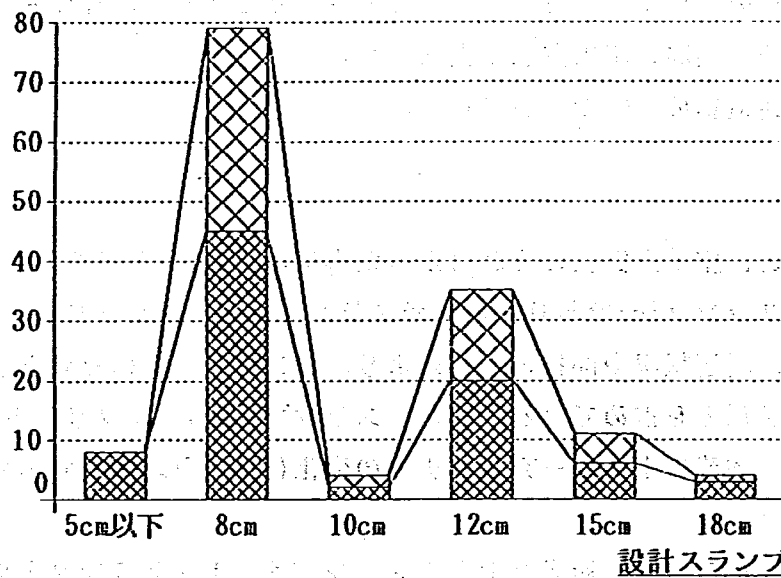


図-4.3-32スランプ変更

有り 無し

変更の有無



3) まとめ

コンクリート工事の合理化施工における、施工適正スランプについては、多くの議論が分かれる所であるが、これを構造物の種類や、部材の種類などで分類するには、問題がありそうである。すなわち、土木の構造物では、構造物の種類を施工性やコンクリートの充填性によって分類することが困難であり、また、部材の種類においても断面の寸法や、形状はそれぞれ異なり、これらを直ちにコンクリート施工の難易に結びつけられない。

アンケートの結果でも、これらの状況が現われており、特別の構造物(トンネル)を除いては、施工スランプには特別な傾向は見られず、トンネル覆工コンクリートでも、施工スランプには、相当の範囲があり、これらのスランプで十分な施工が行われている。

さらに、適切と考えられるスランプにも傾向は明らかでない。

コンクリートの打ち込みの難易と、配筋状態には密接な関連があると思われるが、単に鉄筋量のみで施工性のランク付けをすることは疑問である。すなわち、平均的なコンクリート体積に対する鉄筋量ではなく、最も過密な配筋箇所を問題にすべきであろう。

アンケートの結果でもこのことが現われており、鉄筋量と施工スランプには関連が少なく、施工が実状と合わない場合としては、部分的な鉄筋の過密を上げている。

しかし、これらを設計図などから判断して、コンクリートの設計スランプを事前に定めることは、相当な労力を有すると思われる。

以上のように、構造物の種類などにより、適正スランプを設定するためには、さらに今後の検討が必要である。

しかしアンケート調査の結果より、概略の判断をすると、標準的なスランプを12cmに設定すると、多くの工事で問題が少なくなるとと思われる。これを基準として、特別な場合には流動(化)コンクリートを使用して、15および18cmのコンクリートの施工を考慮すると云うような、基本的なコンセンサスが得られれば、コンクリートの品質低下も少なく、合理化施工にも繋がると思われる。

4. 3. 1 1 コンクリート工事の自動化、省力化を図るためのコンクリートに対する 意見・提案

コンクリート工事の自動化、省力化を図るためのコンクリートに対する意見・提案を要約すれば、以下のとおりである。

a. コンクリートのみではなく、施工全体を考慮した合理化が必要であり、これは設計段階でも十分に考慮すべきである。すなわち、コンクリート躯体断面の単純化、施工面（型枠）を考慮した構造物の形状スリム化等である。

b. コンクリート打設においては、型枠のシステム化が最も重要であるが、それ以外では次のとおりである。

① 打設手段の省力化

ポンプ打設を標準とし、ディストリビュータの自動化

② 締固め手間の省力化

流動化コンクリート、締固め不要コンクリートを標準とするシステム化
（企業者がワーカビリティの良いコンクリートを採用しやすいようにする…変えやすいシステム作りが不可欠）

③ 表面仕上げの省力化

ロボット化

c. 締固め不要コンクリートを開発普及させ、発注者、使用者がコンクリート工事に対する意識を改革していく必要がある。

d. プレキャスト化の推進

① プレキャスト型枠を本体の一部として使用し、省力化を図る。

② プレキャスト部材の使用

③ 二次製品を有効利用し、小規模構造物の基準・規格化を図る。

e. 品質管理の合理化

① リアルタイムに、連続して品質管理ができるシステムの開発

② より簡便でかつ有効な早期品質管理方法の開発

③ JIS工場のレベルアップ、指導強化

f. コンクリートの品質向上

- ① コンクリートのひびわれ抑制対策として、高性能減水剤の適用範囲の拡大
- ② マスコンクリートの大量打設のための超低発熱セメントの開発
- ③ 環境の変化に影響を受けないコンクリートの開発（例えば、水のように自由に変形するが、簡単に型枠から漏れず、しかも、打設後は水が早く引き、湿潤状態を保つコンクリート…養生不要コンクリート）

4. 3. 12 ま と め

1) 流動化コンクリート

- a. コンクリートの種類としては、流動化コンクリートが全体の70%を占め多いが、高性能A E減水剤を用いたコンクリートが15%、締固め不要コンクリートが約3%と最近開発が進められているコンクリートも使用されている。
- b. 発注者は、建設省、各公団、地方自治体、民間（電力、ガス、N T T、その他）における使用実績も多くかなり浸透している。
- c. 流動化コンクリートを使用した構造物の種類は、覆工（シールド、トンネル）、梁、柱、床構造物（処理場、発電所）、橋梁関連構造物で60~65%を占め、打設のしづらい箇所、部材厚の薄い箇所、配筋の密な箇所での使用が多い。
- d. 使用目的としては、品質の向上が最も多く、その他、部材厚が薄い、配筋が密等の部材形状、長期流動性確保、富配合での施工性の改善、暑中コンクリートが挙げられる。
- e. スランプは、流動化コンクリートで12cm、15cm、18cmの3種類に分類され、スランプ増加量も8cm以下が大部分を占めている。一方、高性能A E減水剤を用いたコンクリートのスランプは12cmから20cm以上に均等に分布し、流動化コンクリートより高スランプ領域に適用されている。
- f. 単位水量は高スランプ化にもかかわらず、流動化コンクリート、高性能A E減水剤を用いたコンクリートともほぼ $180\text{kg}/\text{m}^3$ 以下となっている。
- g. 流動化剤、高性能A E減水剤の添加場所は工場が3割、現場が7割であり、高性能A E減水剤の使用は2割程度であり、流動化剤のプラント添加が一部認められた。いずれにしろ、近年工場添加が増えてきており施工の合理化、品質管理の面からも、この傾向は強くなるものと思われる。
- h. 流動化にあたって約8割が事前に工場と協議しており、8割弱が事前に試験を行っている。
- i. 流動化コンクリートの使用許可を得るために約8割が発注者と協議している。すなわち、製造、施工、品質上の課題を示し、解決策として流動化コンクリートの使用を提案したケースが多い。
- j. 今後、約7割が流動化コンクリートを積極的に使用したいと考えており、その理由として、施工性の向上、打設要員削減、工期の短縮、品質の向上をあげている。

2) 流動化コンクリート使用上の留意点・提案

- a. 流動化剤とベースコンクリートに使用する混和剤との適合性について事前の検討が必要である。
- b. 通常のコンクリートより流動性が良くなるため、1箇所では打込むと型枠がハラム問題が発生するので、打込み方法（順序）、締固めの重要性等、職員、作業員の意識を新たにすること。
- c. コンクリートの品質（特にコンシステンシー）がバラツキ易いため、添加量の管理が重要である。
- d. 流動化コンクリートを使用することにより、品質が向上し、施工の合理化、省力化、にもつながるが、積算以上の費用が発生するため（コンクリートの単価が高くなる）積算基準の見直しを願いたい。
- e. 硬いコンクリートが高品質であるとの概念を捨て、さらに、施工環境の現状（作業者の質、環境問題）を考慮し、発注者が使用の必要性を理解し、設計段階で積極的に流動化コンクリートの使用を提示し、設計図書、仕様書等に流動化コンクリートを使用する対象構造物を示してほしい。つまり、指針の整備、ルール作り（部材形状、最小断面、鉄筋量、打設方法）が必要である。
- f. 流動化コンクリート、高性能A E減水剤を使用したコンクリートについて、簡便で、有効な品質管理方法を開発し、体系付けてほしい。

3) 構造物による適性スランプ

- a. 土木構造物では、構造物の種類を施工性やコンクリートの充填性によって分類することが困難であり、また、部材の種類においても断面の寸法や、形状がそれぞれ異なり、これらを直ちにコンクリート施工の難易に結びつけられない。アンケート結果でも、これらの状況が現れており、施工スランプは、トンネル覆工コンクリートでは、12~18cmのものが多く、その他の構造物では12cm以下のものが8割以上であるが、構造部の種類による特徴は明確ではない。また、部材による施工スランプの差も明確ではない。
- b. コンクリート打込みの難易度と配筋状態には密接な関係があると思われるが、単に平均的なコンクリート体積に対する鉄筋量ではなく、最も過密な配筋箇所を問題にすべきであろう。アンケート結果でもこのことが現れており、鉄筋量と施工スランプには関連が少なく、施工が実情と合わない場合としては、部分的な鉄筋の過密を挙げている。

c. 設計スランプが施工上不適当と考えられたケースが3割あり、この内約6割は変更が認められているが、これらを設計図などから判断して、設計スランプを事前に定めることは現状では簡単にはできないと思われる。

d. 以上のように、構造物の種類などにより、適性スランプを設定するためには、さらに今後の検討が必要であるが、アンケート調査結果より、概略の判断をすると、標準的なスランプを12cmに設定すると、多くの工事で問題が少なくなると思われる。これを標準として、特別な場合には流動化コンクリートまたは高性能AE減水剤を用いたコンクリートを使用して、15及び18cmのコンクリートとする等、基本的なコンセンサスが得られれば、コンクリートの品質低下も少なく、合理化施工にも繋がる考えられる。

4) コンクリート工事の自動化、省力化図るための意見・提案

a. コンクリートのみではなく、施工全体を考慮した合理化が必要であり、設計段階でも十分に考慮すべきである。すなわち、コンクリート躯体断面の単純化、施工面（型枠）を考慮した構造物の形状のスリム化等である。

b. コンクリート打設においては、型枠のシステム化が最も重要であるが、それ以外では
① 打設手段の省力化、② 締固め手間の省力化、③ 表面仕上げの省力化、が挙げられる。

c. 締固め不要コンクリートを開発・普及させ、発注者、使用者がコンクリート工事に対する意識を改革していく必要がある。

d. その他、プレキャスト化の推進、品質管理の合理化、コンクリート自体の品質の向上等が挙げられる。

4. 4 鉄筋加工・組立

4. 4. 1 概 要

今回のアンケートの目的は、前年度の研究結果に基づき「鉄筋工事の自動化」を進めるための検討事項として挙げられた問題点が、実際の工事現場ではどのように考えられているかを把握し、今後の研究を進めていく上での参考（指標）として役立てることにある。

アンケートは以下に示す3項目に関するものであり、回答数を示す。

総回答数 333

鉄筋の電気溶接に関するもの	236
スタラップの切断に関するもの	220
ユニット鉄筋の使用に関するもの	115

工事概要を見ると、発注者は建設省・各公団・地方自治体・鉄建公団・電力・私企業と全ての分野が網羅されており、また、工事規模・構造物にしても偏り無く様々なものについての回答が寄せられており、アンケートとしては十分な回答が得られたと考えている。

当初の予定では、ユニット鉄筋の使用に関しては回答が少ないだろうと予想していたが、115件もの回答があり、しかも、場所打ちコンクリート杭や連続地中壁への適用に偏ることなく種々の構造物への適用例が回答されてきており、かなりユニット鉄筋が使用されてきていることが改めて認識された。

1) 鉄筋の電気溶接に関して

(1) 電気溶接の使用目的

鉄筋の電気溶接の使用目的は、「組立てを確実にするため」に使用されることが回答数の50%と最も多くなっており、「鉄筋組立てのスピードアップ化のため」と「ユニット化」のために使用されることが約25%となっている。

使用したコンクリート部材に関しては、ややスラブへの適用が多くなっている。

(2) 結束の替わりに電気溶接を使用

結束の替わりに溶接を使用した鉄筋の組合わせは、主筋とスタラップ・配力筋・組立筋および配力筋と組立筋との組合わせがそれぞれ1/4となっており、主筋と主筋というのは殆どなかった。鉄筋径では太い鉄筋と細い鉄筋（例えばD32とD25以下、D22とD16以下のような）の組合せとなっているケースが大部分であることも特徴であり、指針や基準を示す時には注意が必要である。

(3) 鉄筋の接続のために電気溶接を使用

鉄筋の接続のために電気溶接を使用したケースは 1/4が報告されており、かなり使用されている。鉄筋径では、比較的、細い鉄筋（19mm、16mm、13mm）に使用されることが多くなっている。

(4) 電気溶接の使用量

回答の 1/3は溶接の使用箇所を 5 %以下の必要最小限に止めており、組立ての補助として溶接を考えており、できるだけ少なくしようとしている傾向にある。ユニット鉄筋に使用する場合には全箇所というのが殆どである。

(5) 電気溶接使用に当たっての事前検討

全く事前検討をしないで使用しているのが43%あり、使用する箇所が少ない場合には、殆ど事前検討は行われていないようである。しかし、 1/3は事前検討として「応力が小さいことを確認している」と回答しており、使用する箇所が多い場合には、慎重な対応が成されているようである。

(6) 電気溶接を積極使用するための提言

電気溶接の適用範囲・使用可能部位・使用方法などを示方書・基準などに明示することが求められている。

2) スターラップの分割について

(1) 分割の適用

スターラップの分割ありと回答しているのは全回答数の 2/3であり、これは溶接ありの回答とはほぼ同数と非常に多く、スターラップの組立てがかなり鉄筋工事のネックとなっているといわねばならない。ちなみに、電気溶接の使用ありとスターラップの分割ありと両方を回答しているのは__%である。

(2) 分割の目的

スターラップの分割の目的は、70%が「スターラップの組立てが困難なため」と回答している。残りは「スピードアップ」となっているが、これも組立てができないことはないが、非常に手間がかかるためと解釈でき、スターラップの組立てが鉄筋工事の省力化・自動化のネックになっていると考えられる。

(3) 分割の形状

分割の形状は基準を満足した上で施工性の改善が第一であり、図－Aに示すものが40%で、図－Bに示すものをいれると50%以上がこのタイプとなる。この形状で、重ね合せ長さをコンクリート標準示方書の規定通り（40D以上）とすると、D16でも重ね合せ長さは640mmとなり、桁高の低い桁では非常に無駄でありあまり施工性の改善とならないようなことも考えられる。

(4) 分割のための事前検討

コンクリート標準示方書ではスターラップの分割を基本的には推奨していないにもかかわらず、回答の約半数は事前検討を全く行っていないとしている。やむを得ない状況のようであるが、設計の段階でもっと検討されるべきことと考えられる。

(5) 分割のための対策

スターラップの分割のための対策としては、2/3が重ね合せ長さを長くして対応している。溶接は殆ど使用されていない。

(6) スターラップの組立ての合理化・自動化のための提言

設計思想の合理化（曲り筋を使わない、ハンチ等の減少など）が第一にあげられているその他、「鉄筋の規格化・ユニット化」や「主鉄筋組立て後に配筋できるスターラップの形状とする」などの提言がある。

3) ユニット鉄筋の使用について

(1) 使用例

ユニット鉄筋の使用例は、市町村と私企業がやや多い傾向で、道路公団がやや少ない傾向となっている。

(2) 使用目的

使用目的は何と言っても「スピードアップ」が第一（80%以上）であり、「省人化」が次いでいる（33%）。

(3) 形状等

使用構造物は種々であり、ユニット鉄筋の形状としては、籠形状が多い。

(4) 重量

重量も様々であり、1tを超えるものも多い。

(5) 継手

ユニット鉄筋どうしの継手は、70%が重ね継手である。基準通り(25D)にずらしたものが50%、いも継手が30%となっており、工夫していることが分かる。

(6) 製作場所

現場ヤードが75%と主体になっている。

(7) ユニット化を推進するための提言

ユニット化を推進するためには、施工の段階でなく設計の時点で検討することが最も重要である。

技術的には継手の問題を解決しなければならない。

4. 4. 2 鉄筋の電気溶接

「鉄筋を現場で電気溶接したことがある」と回答された236現場について、

- ① 発注者は
- ② 電気溶接の使用目的は
- ③ どのような部材のどのような鉄筋をどのように溶接したのか
- ④ 電気溶接をどの程度（全箇所に対して）使用したのか
- ⑤ 使用に際して、どのような事前検討を実施したのか

等に関する調査を実施した。その結果は以下のようなものである。

1) 発注者

発注者の分類を図-4.4.1に示す。これらによると、中央官庁・公団、地方自治体、民間など発注者は多岐にわたっており、多くの発注者が条件によっては電気溶接を認めていると言えそうである。

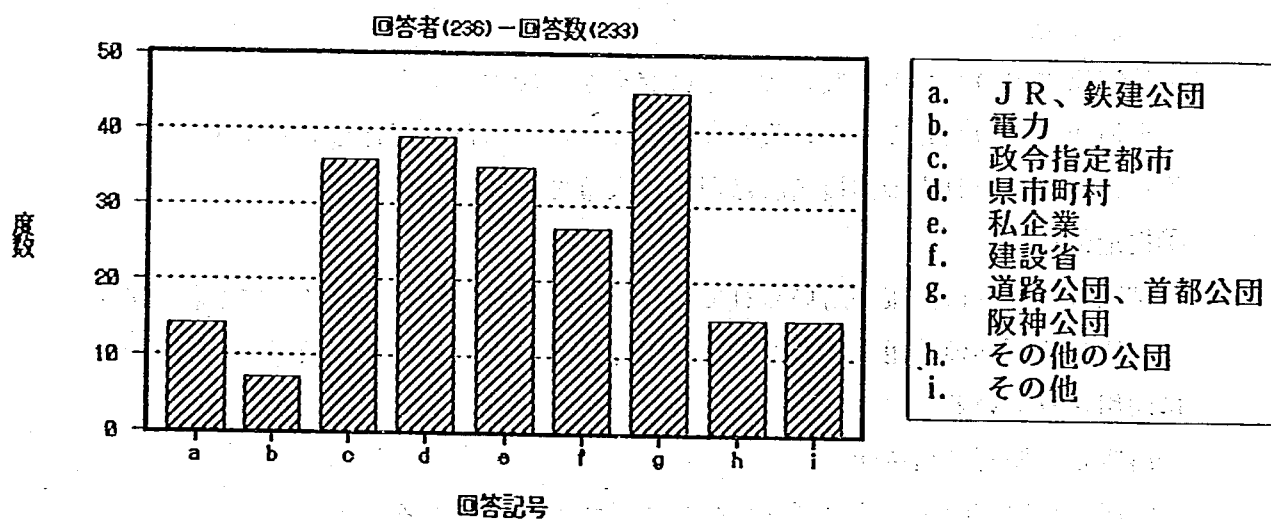


図-4.4.1 発注者の分類

2) 電気溶接の使用目的

電気溶接の使用目的の分類を図-4.4.2に示す。

この図によると、「組立てを確実にを行うため」が最も多く、全体の40%余りとなっている。また、使用目的には種々のものがあるが、「組立てを確実に・早く行うため」「鉄筋をユニット化するため」を合わせると約80%にのぼり、これらが主な使用目的と考えられる。

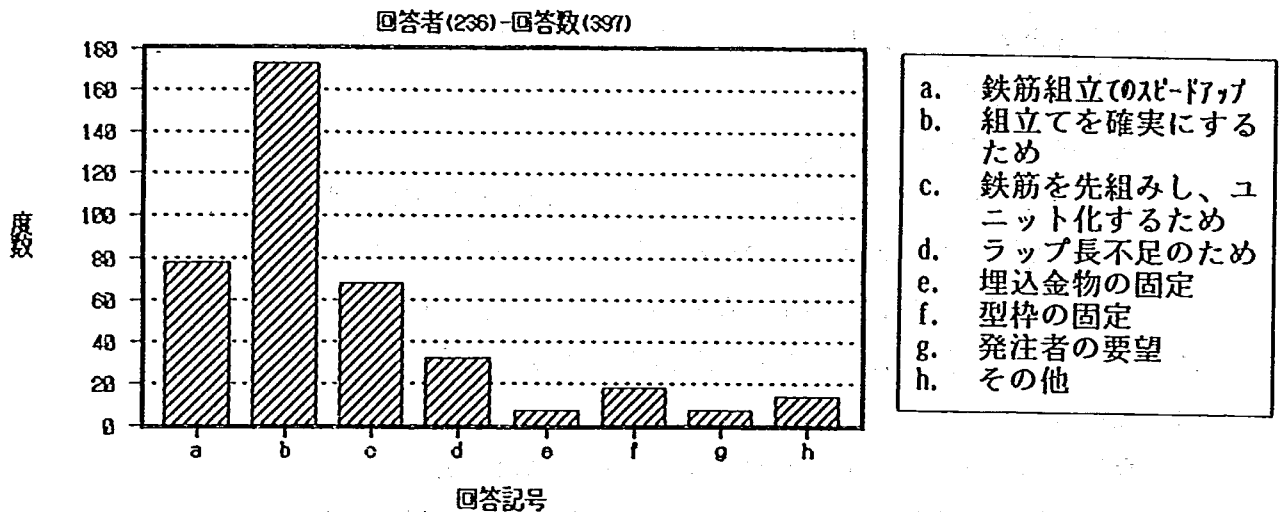


図-4.4.2 使用目的の分類

3) 溶接箇所

(1) 鉄筋組立てのための結束の代わりに交点を溶接する場合

鉄筋組立てのための結束の代わりに交点を溶接した事例として約300件の回答があった。それらの溶接箇所は以下のようなものである。

①構造部材

結束の代わりに溶接が用いられている構造部材は図-4.4.3 に示すとおりである。床スラブへの使用が最も多くなっているものの、柱、梁、壁等、多くの部材に適用されている。

②溶接した鉄筋の組合せ

溶接した鉄筋の組合せは図-4.4.4 に示すとおりである。

これによると、主筋とスタラップ・配力筋・組立筋の組合せまたは組立筋と配力筋の組合せが大多数で、主筋と主筋という組合せは殆ど見られない。

③溶接した鉄筋の太さ

溶接した鉄筋の太さの組合せは図-4.4.5 に示すとおりである。

これによると、同一径あるいは類似する径の組合せは少なく、太い鉄筋と細い鉄筋（例えばD32とD25以下、D29とD22以下、D25とD19以下など）の組合せが大多数である。

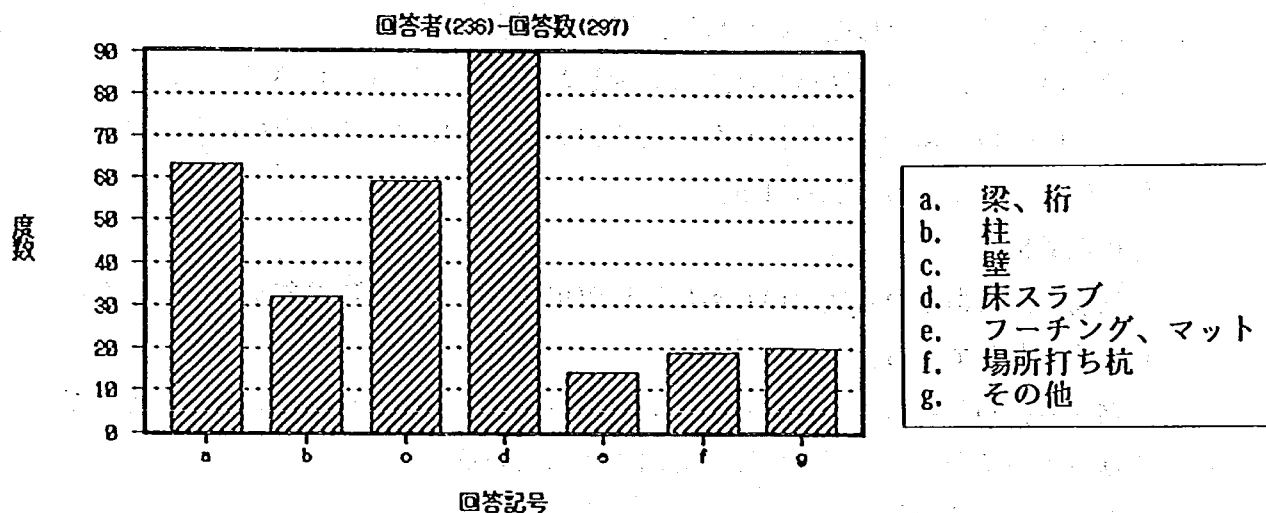


図-4.4.3 結束の代わりに溶接を用いた構造部材

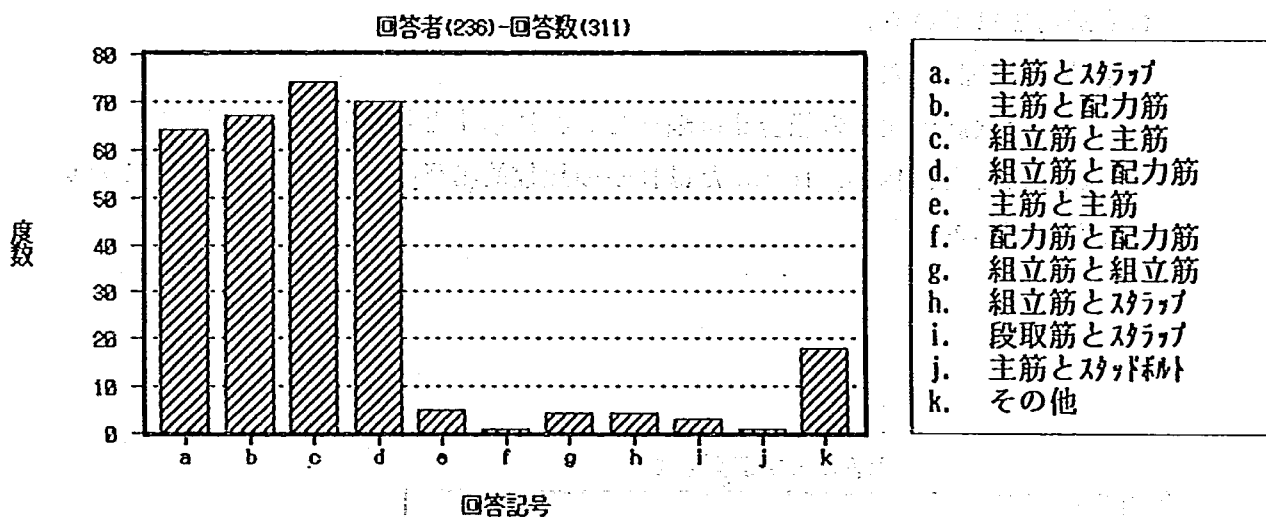


図-4.4.4 結束の代わりに溶接を用いた鉄筋の種類

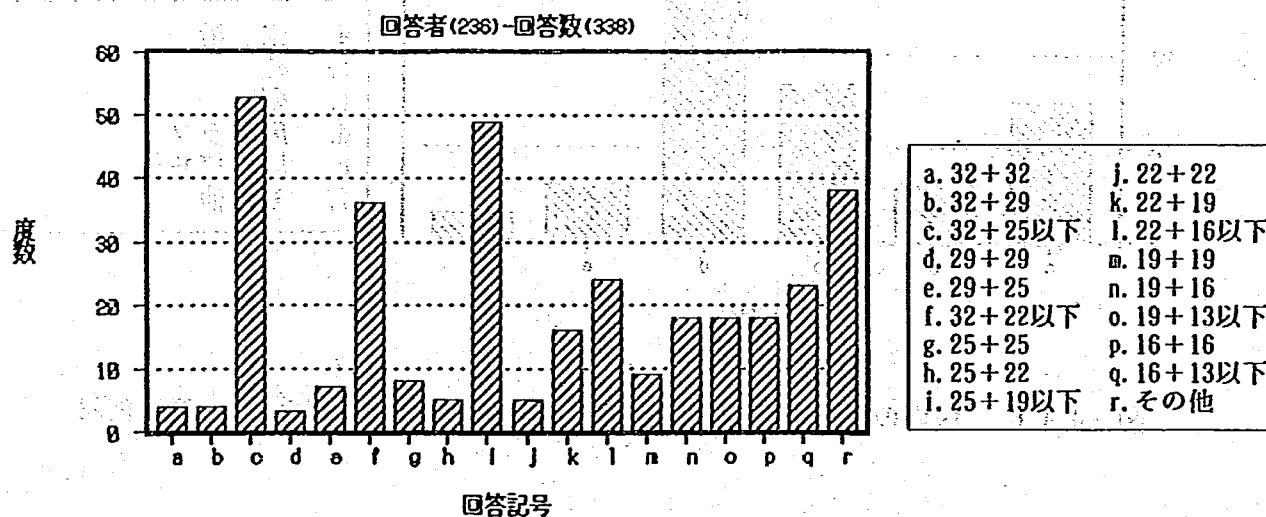


図-4.4.5 結束の代わりに溶接を用いた鉄筋の太さの組合せ

(2) 鉄筋の延長あるいは閉合のために溶接する場合

鉄筋の延長あるいは閉合のために溶接した事例の報告は80件程度である。

結束の代わりに交点を溶接した事例の約300件に比べると少ないものの、かなり使用されていると思われる。

①構造部材

鉄筋の延長あるいは閉合のために溶接が用いられている構造部材は図-4.4.6に示すとおりである。

結束の代わりに溶接が用いられている場合と同様、床スラブへの使用が最も多くなっているが、柱、梁、壁等にも適用されている。

②溶接した鉄筋の種類

溶接した鉄筋の種類を図-4.4.7に示した。

これによると、主筋どうしの溶接事例が多いが、配力筋どうし、スタラップ等にも適用されている。

③溶接した鉄筋の太さ

溶接した鉄筋の太さの組合せは図-4.4.8に示すとおりである。

これによると、19mm、16mmまたは13mmの比較的細径の鉄筋に使用されることが多くなっている。

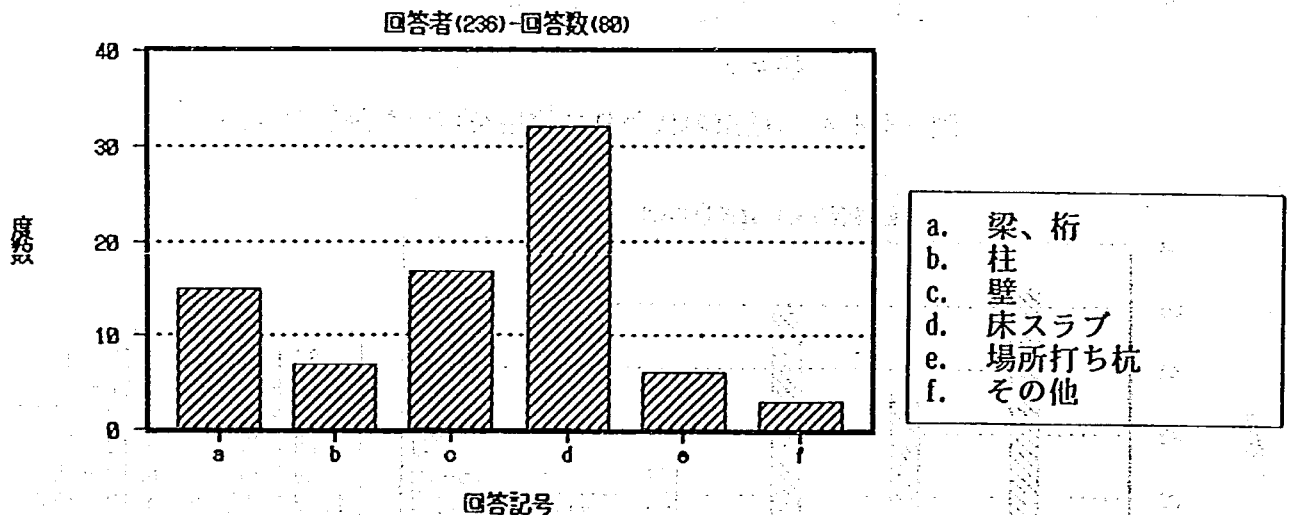


図-4.4.6 鉄筋の延長あるいは閉合のために溶接が用いられている構造部材

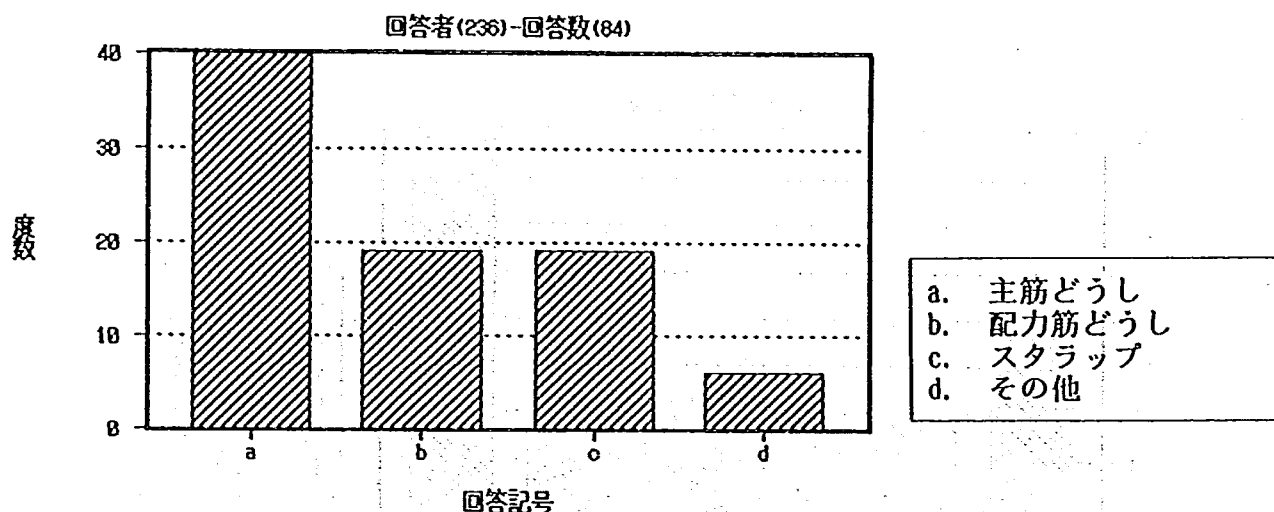


図-4.4.7 鉄筋の延長あるいは閉合のために溶接された鉄筋の種類

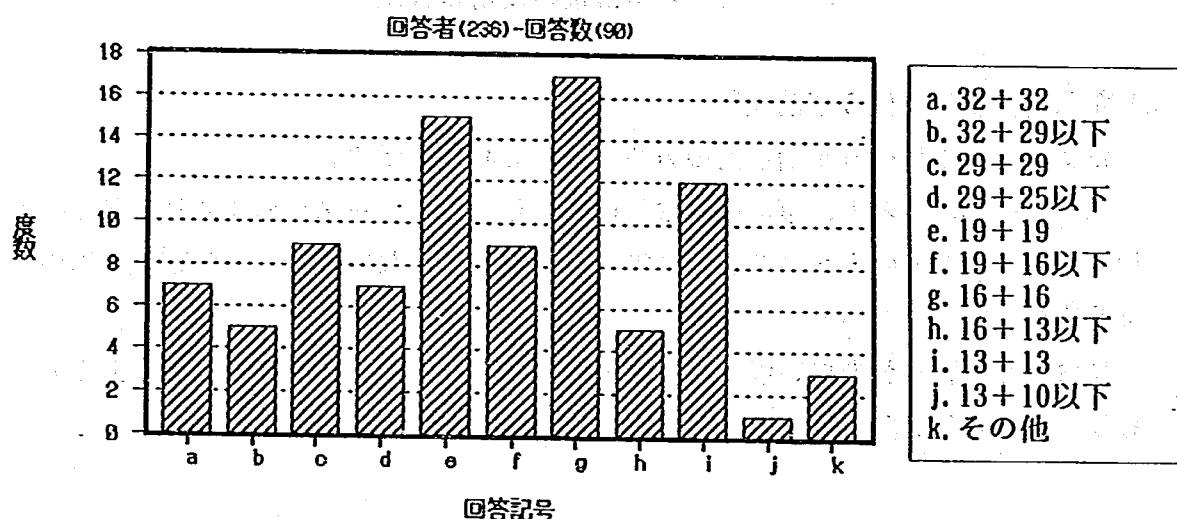


図-4.4.8 鉄筋の延長あるいは閉合のために溶接された鉄筋の太さ

4) 電気溶接の方法

溶接の方法を図で示した回答を180件余りいただいた。これらについては、別途、事例集として取りまとめる予定である。

5) 電気溶接の使用の程度

電気溶接をどの程度使用したのかに関する調査結果を図-4.4.9に示す。

この図から分かるように、全箇所に使用しているのは全体の約20%で、多くの現場は部分使用である。特に、5%以下の使用にとどめている現場が多く、組立ての補助手段として溶接を位置づけているのが現状のようである。

なお、ユニット鉄筋に溶接を使用する場合には、全箇所に使用しているのがほとんどである。

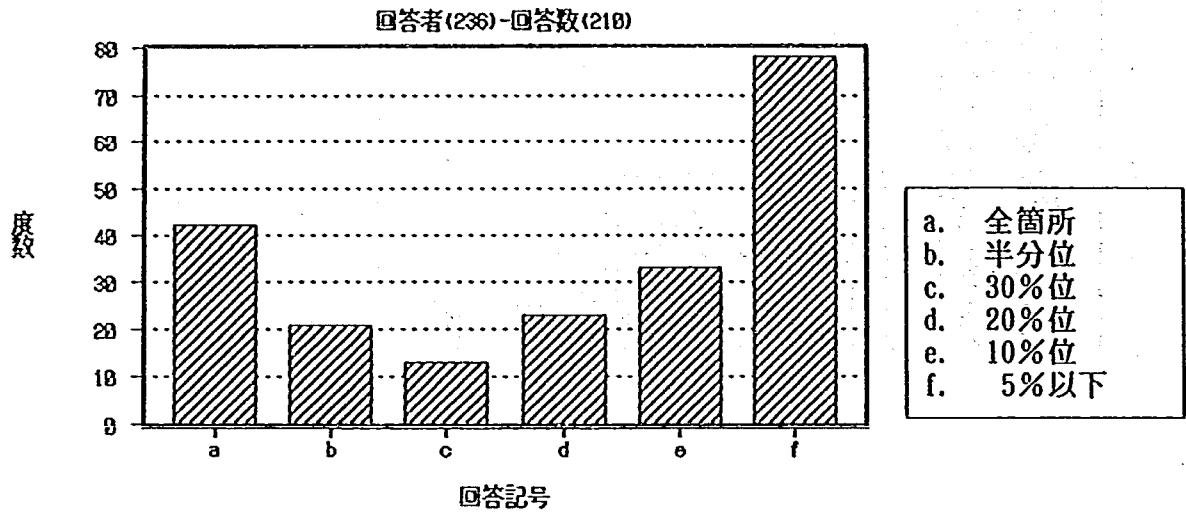


図-4.4.9 電気溶接の使用の程度

6) 電気溶接使用に伴う事前検討

電気溶接使用に伴う事前検討の方法を図-4.4.10に示す。

図-4.4.10によると、事前検討なしに使用しているケースが約40%、残りの約60%は「応力の小さいこと」「繰返し荷重を受けないこと」を確認する等の事前検討が行われている。

なお、使用箇所が少ない場合には、事前検討はほとんどなされていないようであり、使用箇所が多い場合には、慎重な対応がなされているようである。

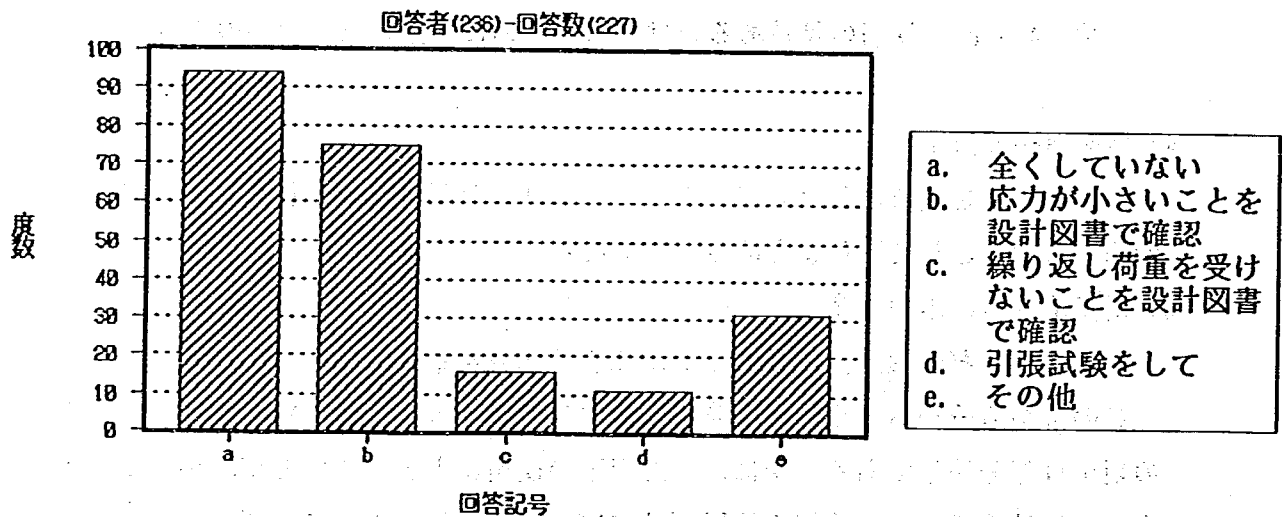


図-4.4.10 電気溶接使用に伴う事前検討の方法

7) 電気溶接の積極的活用方法に関する提案

電気溶接の積極的活用方法に関し、99件の提案をいただいた。これらの内容は図-4.4.11に示すように種々のものがあるが、比較的多くの方が提案した内容は「溶接の適用範囲、使用可能部位等の明示」「溶接を前提とした設計法を定める」「溶接方法の標準化」等である。これらは、まず、電気溶接に関する基準類標準類の明確化を求めたものであろう。

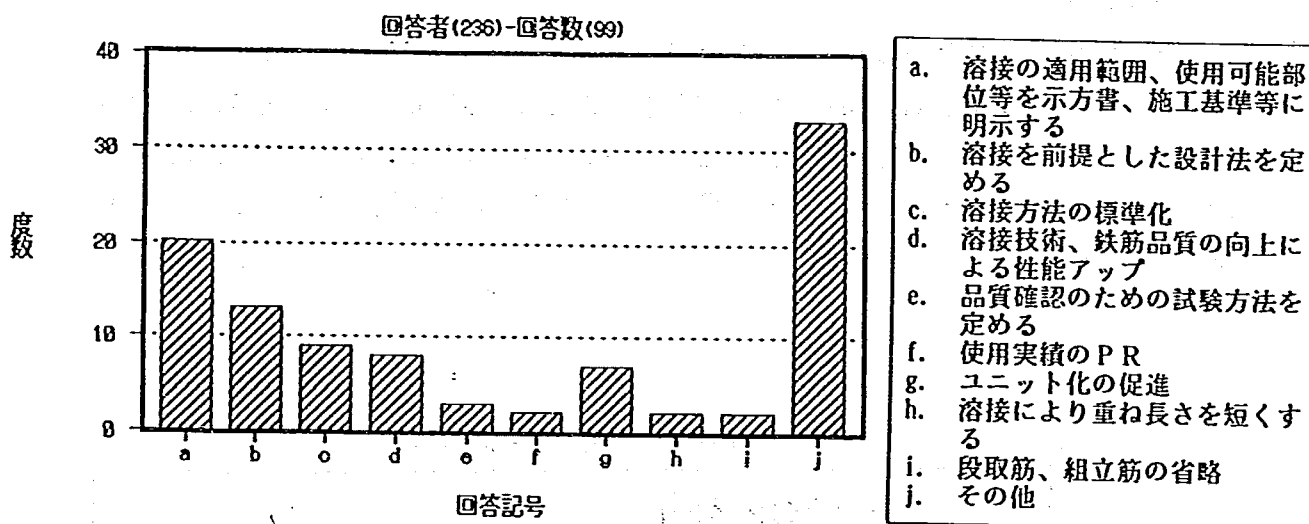


図-4.4.11 電気溶接の積極的活用方法に関する提案

4.4.3 スターラップの配筋

スターラップの配筋に関しては次のような項目について調査した。

- ①梁やスラブのスターラップの分割配筋の有無。
- ②分割の目的。
- ③分割方法。
- ④分割の際の対策。
- ⑤事前検討の有無。

以下各項目に関する調査結果について考察した。

1) 分割の適用

分割配筋有無の調査結果は図-4.4.12に示すとおりである。スターラップの分割ありと回答しているのは全回答数(320)の2/3であり、これは溶接ありの回答数とほぼ同数になっている。スターラップの分割と溶接の適用が必ずしも一致してはいないが、溶接ありの結果と合わせて考えると、スターラップの組立てがかなり鉄筋工事のネックとなっている傾向が見られる。

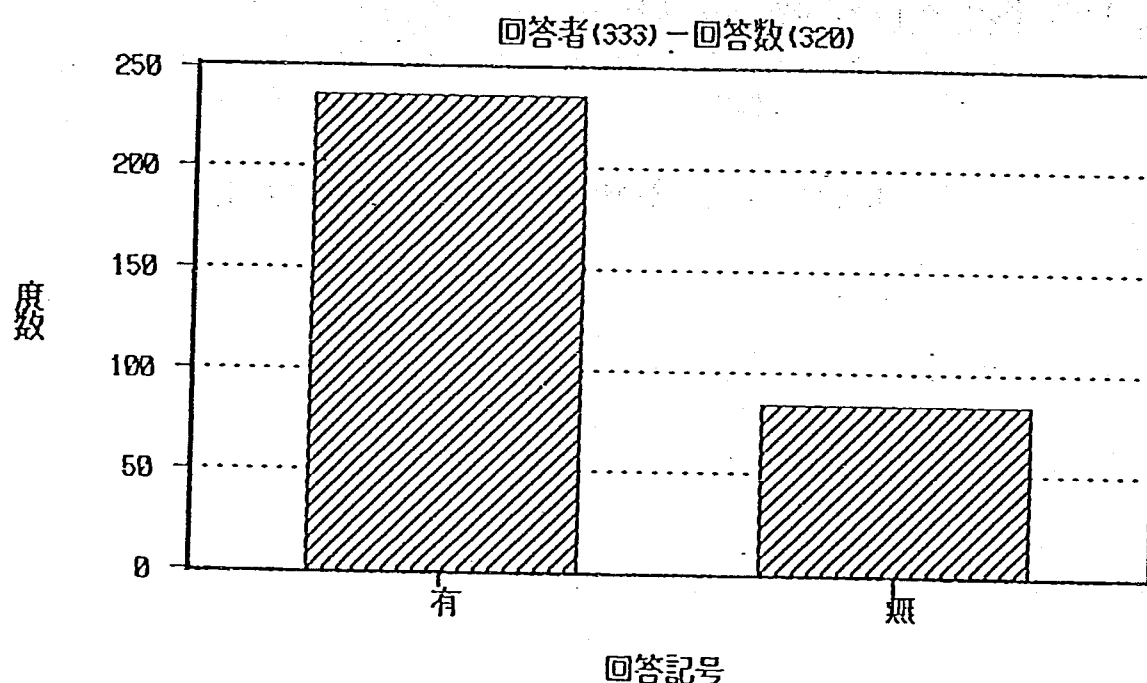


図-4.4.12 スターラップ分割配筋の有無

図-4.4.13はスターラップの分割配筋の対象になった発注者を分類したものである。なお、発注者の記号の説明は以下のとおりである。

a. JR, 鉄建公団 b. 電力 c. 政令指定都市 d. 県市町村 e. 私企業 f. 建設省
g. 道路公団, 首都公団, 阪神公団 h. その他の公団 i. その他

この結果から、半分以上が公団、政令指定都市、県市町村および私企業で実施されていることが認められた。

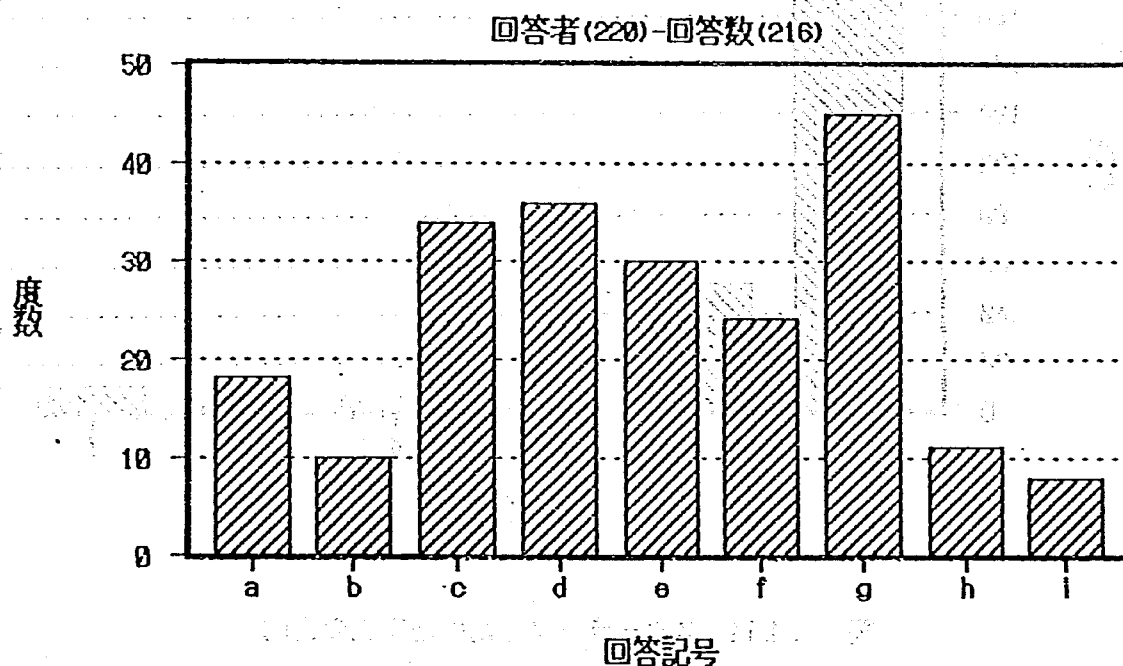


図-4.4.13 スターラップ分割配筋施工の対象発注者

2) 分割の目的

スターラップ分割配筋を行った目的を次のように分類して調査した結果は、図-4.4.14に示すとおりである。

- a. スターラップの配筋が困難だったため
- b. 組立てのスピードアップを図るため
- c. 組立ての自動化を図るため
- d. 設計図書どおり
- e. 長尺となるため
- f. その他

スターラップの分割の目的は、70%が「スターラップの組立てが困難なため」と回答し

ている。残りは「スピードアップ」となっているが、これも組立てができないことはないが、非常に手間がかかるためと解釈でき、スターラップの組立てが鉄筋工事の省力化・自動化のネックとなっていると考えられる。

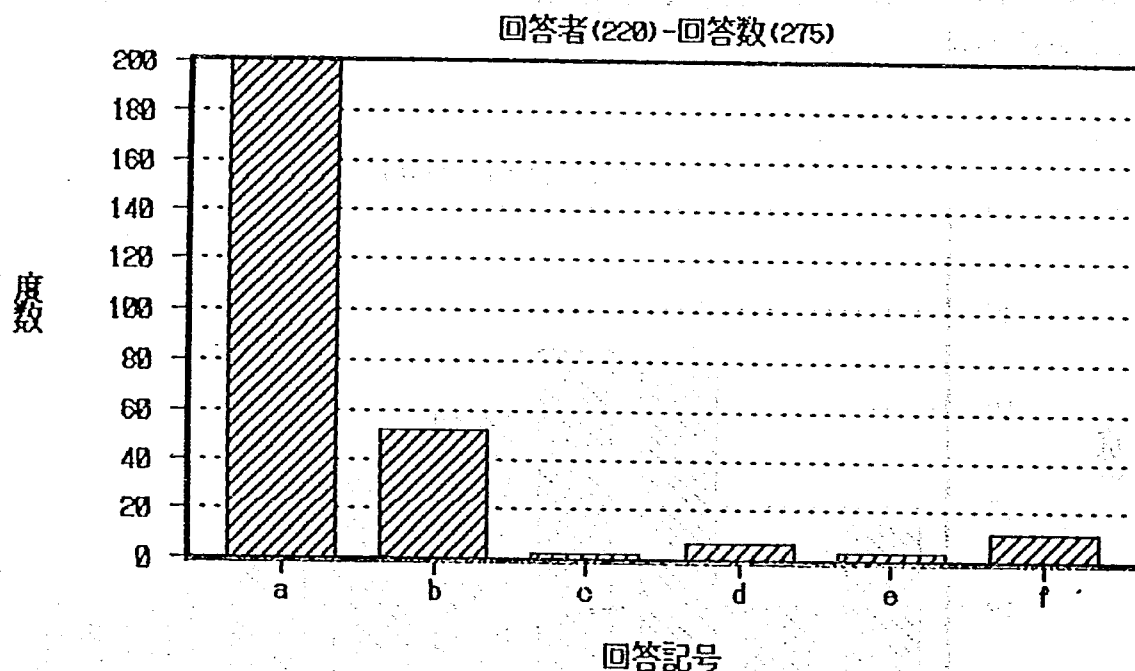


図-4.4.14 スターラップ分割配筋実施の目的

3) 分割の形状

下図のようなスターラップをa. からk. に示したどのパターンで分割したかを調査した。

分割形状の調査結果は、図-4.4.15に示すとおりである。当然のことながら、分割の形状は基準を満足した上で施工性を改善することが第一であり、前ページの図に示したc.のタイプが約40%であり、e.のタイプを入れると50%以上がスターラップを上下に2分割するタイプとなる。この形状で、重ね合せ長さをコンクリート標準示方書の規定通り(400以上)とすると、D16でも重ね合せ長さは640mm となり、桁高の低い桁ではラップ長さが長くなり、あまり施工性の改善にはつながらないことが考えられる。

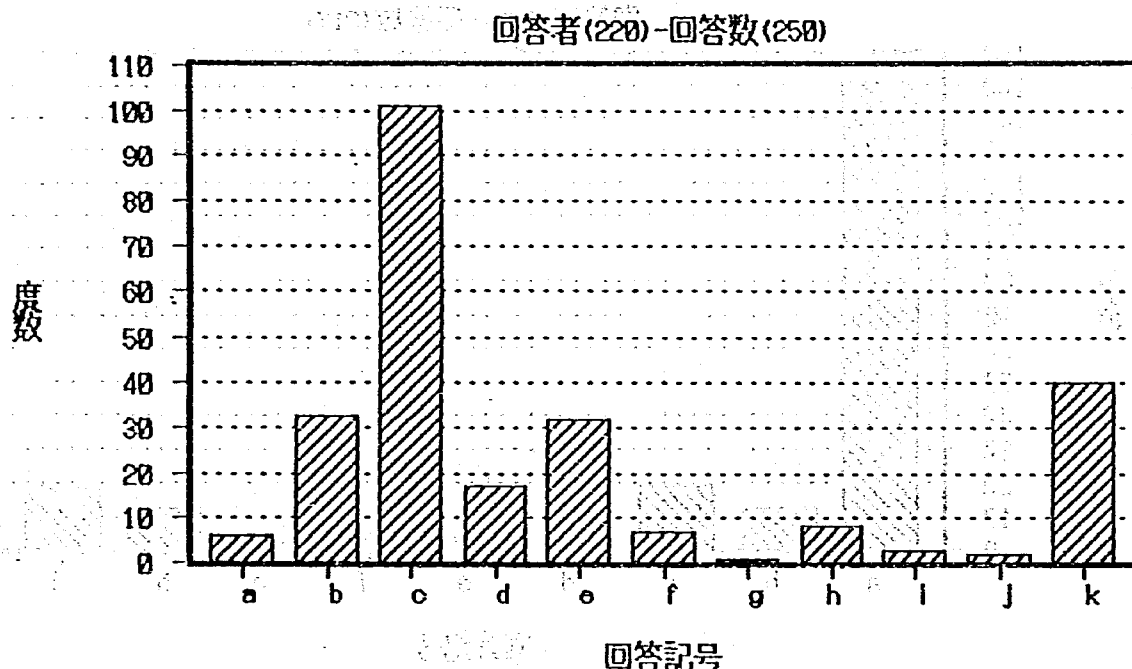


図-4.4.15 スターラップ分割形状の調査結果

4) 分割のための対策

スターラップを分割配筋する場合にどのような対策を講じたかを調査した。対策としては次のような項目を設定した。

- a. 重ね長さを長くした(示方書の長さは2ld)
- b. 重ね部を溶接した
- c. 添え筋を配置した
- d. らせん筋を配置した
- e. 端部にフックをつけた
- f. 継手の位置を配慮した(同一断面にならないように)
- g. 機械式継手を用いた

h. 示方書の範囲内で対処した

i. その他

調査結果は、図-4.4.16に示すとおりである。この結果から、スターラップの分割のための対策としては、2/3 が重ね合せ長さを長くして対応しており、また溶接は殆ど使用されていない傾向が見られる。

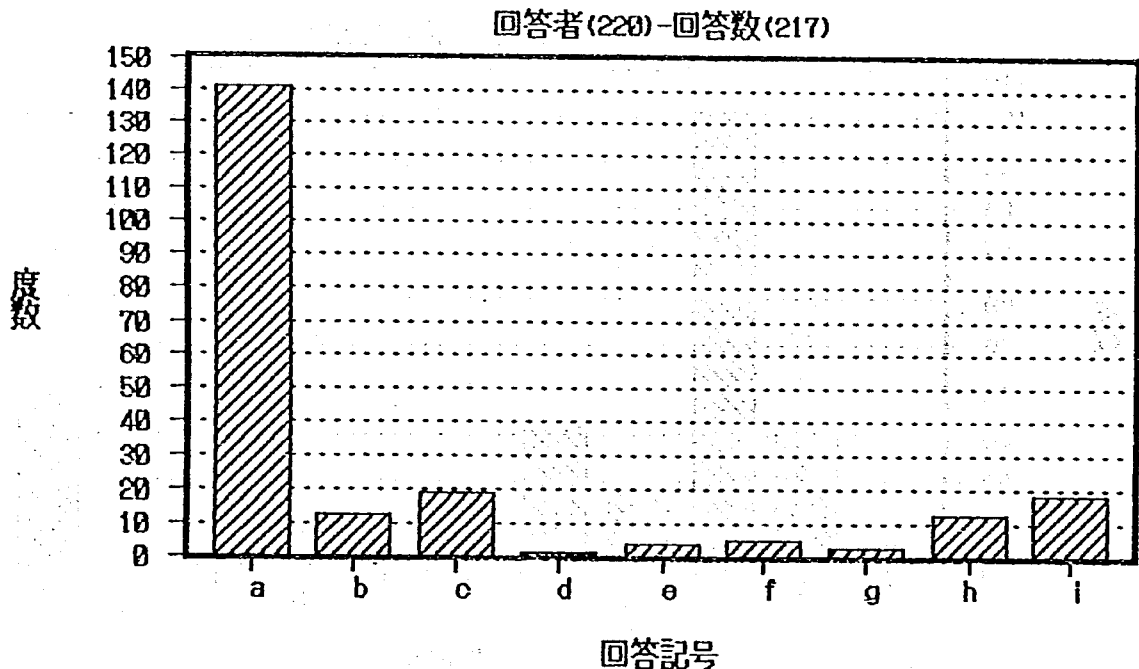


図-4.4.16 スターラップ分割配筋を行った場合の対策

5) 分割のための事前検討

スターラップの分割配筋に際して、事前検討を行ったかどうかについて調査した。調査内容は次のようである。

- a. していない
- b. 施工性から分割形状等をチェック
- c. 示方書の該当項目のチェック
- d. 設計計算書のチェック
- e. 設計者側と協議
- f. 発注者と協議
- g. フック、重ね長さ等の検討
- h. その他

調査結果は図-4.4.17に示すとおりである。コンクリート標準示方書ではスターラップの分割を基本的には推奨していないにもかかわらず、回答の約半数は事前検討を全く行っていないとしている。やむを得ない状況のようであるが、設計の段階でもっと検討されるべきことと考えられる。

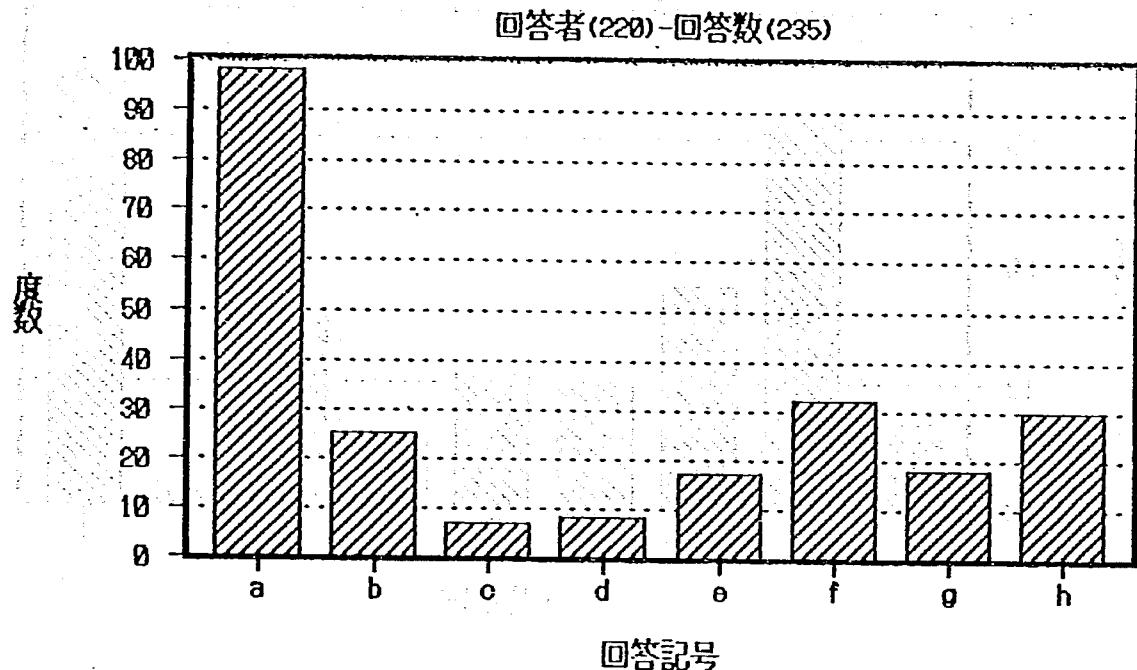


図-4.4.17 スターラップ分割配筋に際しての事前検討

6) スターラップの組立ての合理化・自動化のための提言

スターラップの組立ての合理化・自動化を進めるための方法について、次のような内容を調査した。

- a. 基準類の整備
- b. 設計思想の合理化(曲がり筋を使わない、ハンチ等の減少など)
- c. 鉄筋の規格化、ユニット化
- d. 鉄筋以外の材料(新素材、PC鋼材、鉄骨、メッシュ筋) の活用
- e. スターラップが不要な設計、材料の開発
- f. 結束具の改良
- g. 主筋組立て後配筋できるスターラップの形状とする
- h. 現状ではネックになっていない
- i. その他

調査結果は図-4.4.18に示すとおりである。この結果から、設計思想の合理化(曲が筋

を使わない、ハンチ等の減少など)が第一に挙げられていることが分かる。その他としては、「鉄筋の規格化・ユニット化」や「主鉄筋組立て後に配筋できるスターラップの形状とする」などの提言があった。

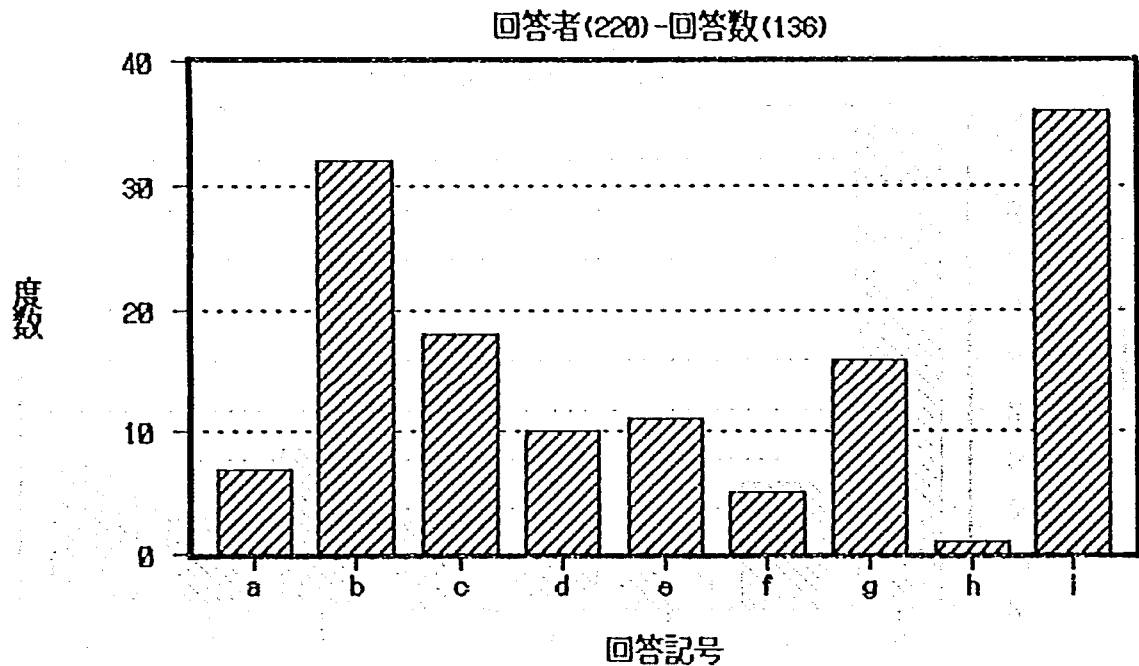


図-4.4.18 スターラップの組立ての合理化・自動化に関する提案

4. 4. 4 ユニット鉄筋

ここでは、ユニット鉄筋について以下の項目について調査した。

- ①発注者
- ②使用目的
- ③構造物の種類
- ③形状
- ④継手方法
- ④製作方法および
- ⑤将来展望

なお、ユニット鉄筋を使ったことが有ると回答したものは、115件で全回答数の30%以上をしめており、ユニット鉄筋がかなり使用されていることがわかった。

以下に調査結果を示す。

1) 工事発注者の分類

図-4.4.19にユニット鉄筋を使用した工事発注者の分類を示す。これより、県市町村、私企業が多く両者で40%以上を占めており、これに続いて政令指定都市および道路公団、首都公団、阪神公団となっている。

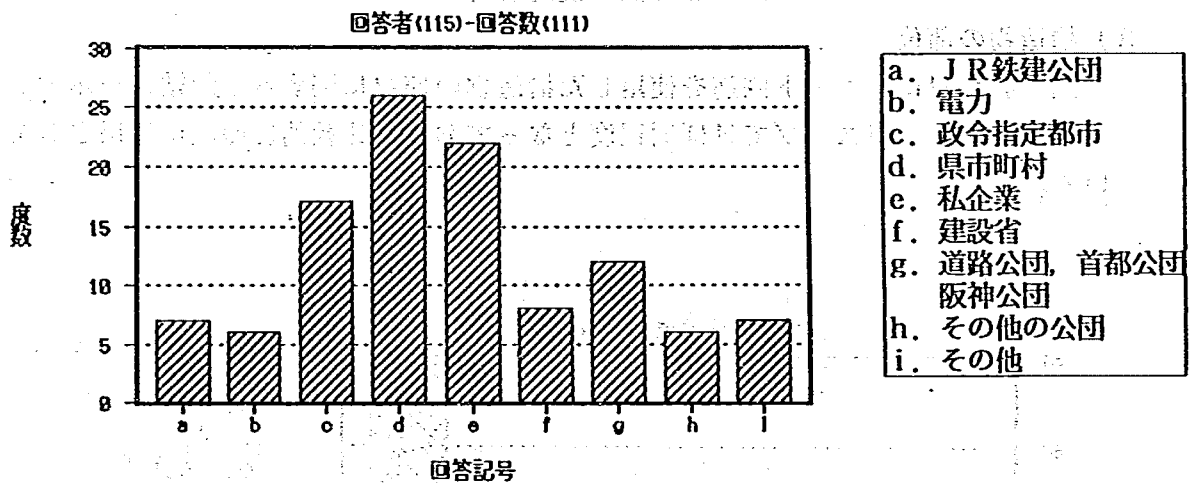


図-4.4.19 工事発注者の分類

2) 使用目的

図-4.4.20に使用目的の集計結果を示す。「工事のスピードアップを図るため」とするものが第1位で約60%を占めている。これについて、労務対策に関わる「省人化を図るため」および「鉄筋工がいないため」で約30%となっている。

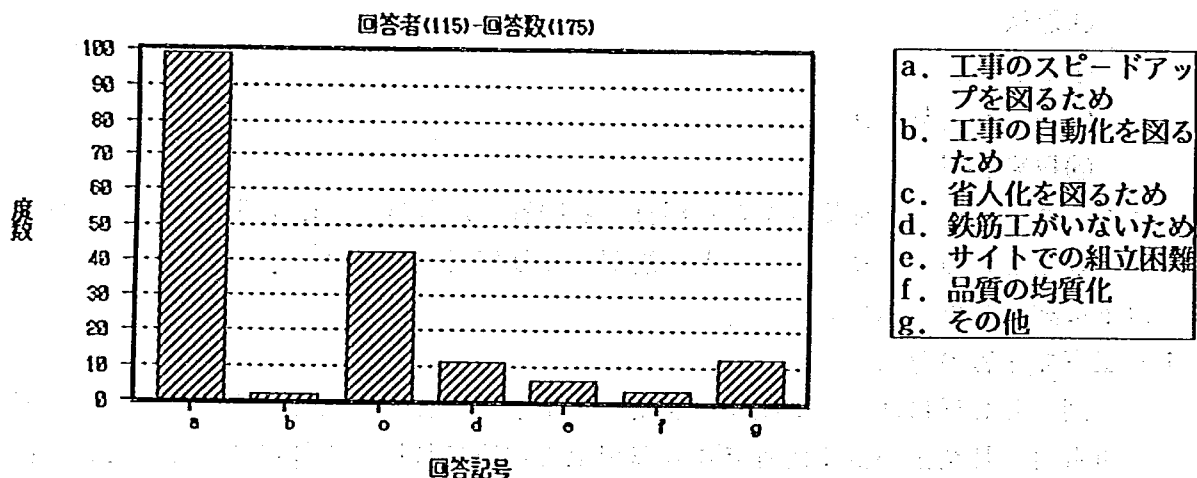


図-4.4.20 使用目的

3) 構造物の部位

図-4.4.21にユニット鉄筋を使用した構造物の部位に関する集計結果を示す。梁、柱、壁およびスラブではほぼ同程度となっており、比較的広範囲に使用されている。

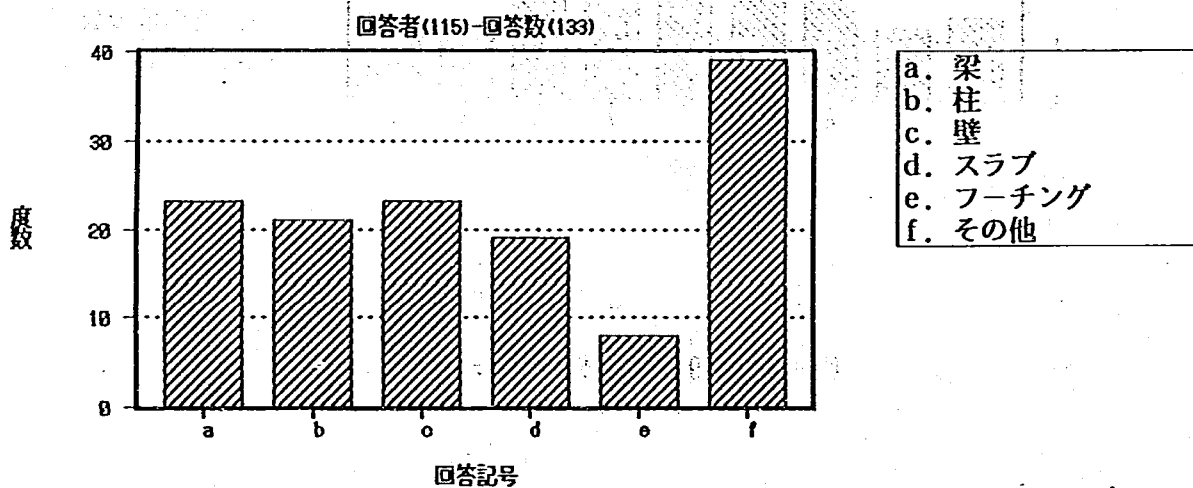


図-4.4.21 構造物の部位

4) ユニット鉄筋の形状と重量

図-4.4.22形状の集計結果を示し、図-4.4.23に1ユニットの重量の集計結果を示す。ユニット鉄筋を使用した構造物の部位は比較的広範囲にわたっていたが、形状は籠形状のものが60%以上を占めている。次に、1ユニットの重量は種々であるが1tを超えるものが一番多く、また、500kg以上のユニットは全体の50%以上を占めており、施工能率を上げるためにユニットの大型化が図られていることも考えられる。

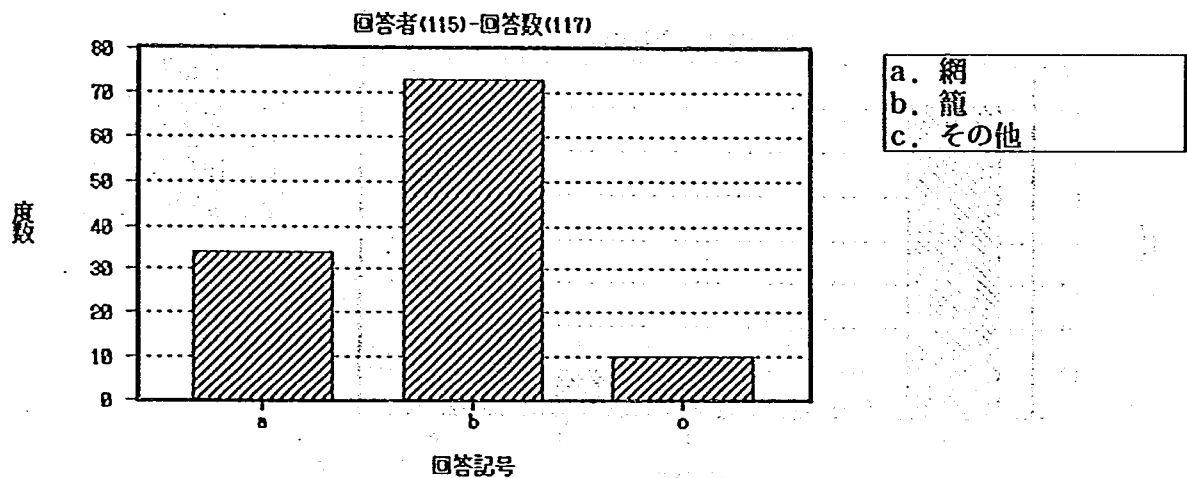


図-4.4.22 形状

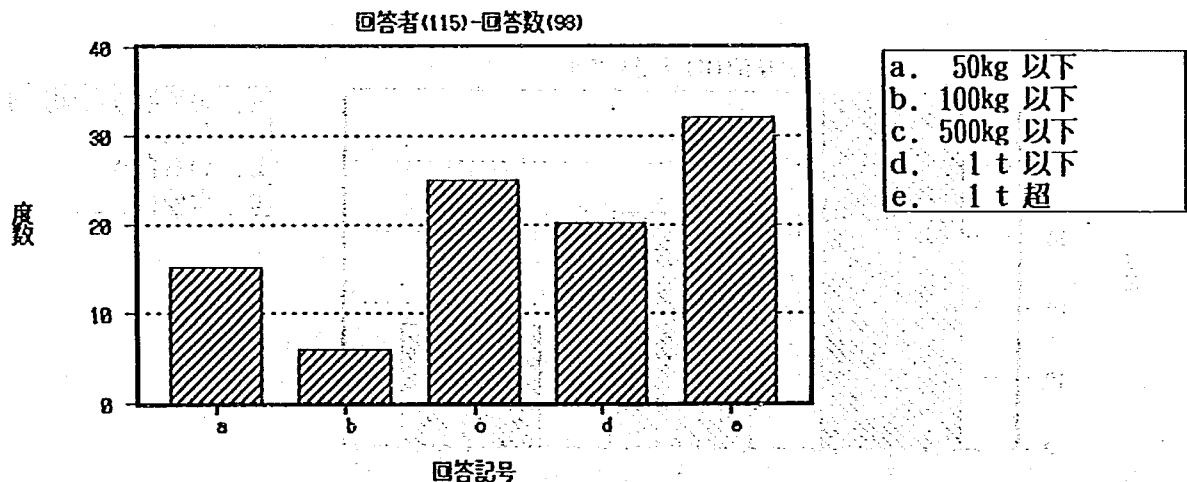


図-4.4.23 ユニットの重量

5) 鉄筋の接合方法

図-4.4.24に鉄筋の接合方法の集計結果を示し、図-4.4.25に継手位置の集計結果を示す。鉄筋の接合方法は約70%が重ね継手で、ユニット鉄筋の使用目的の第1位が施工のスピードアップであることから、簡便な継手方法が採用されているようである。一方、継手位置は、基準どおり(25D)にずらしたものが50%、30%がいも継手となっている。

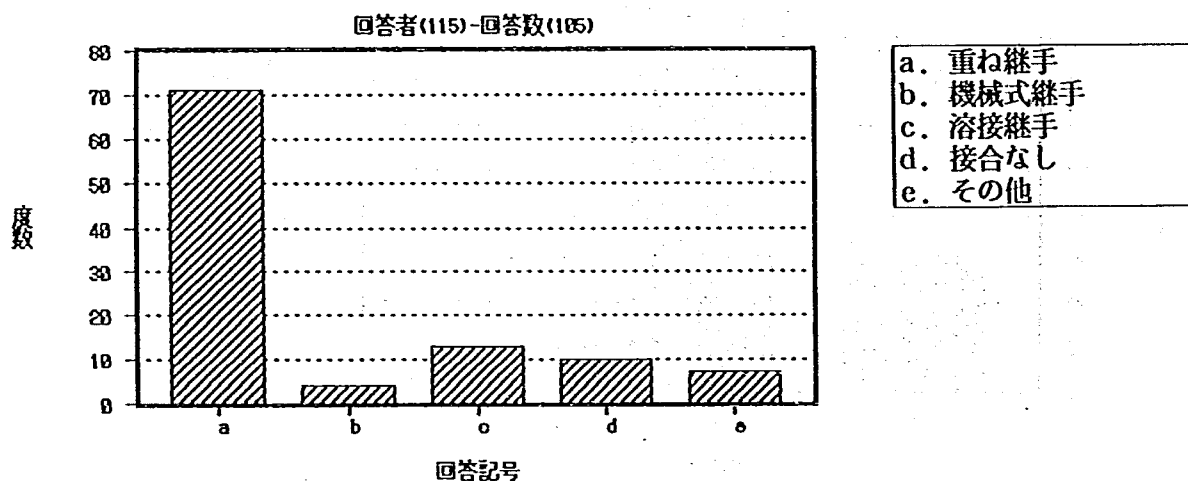


図-4.4.24 鉄筋の接合方法

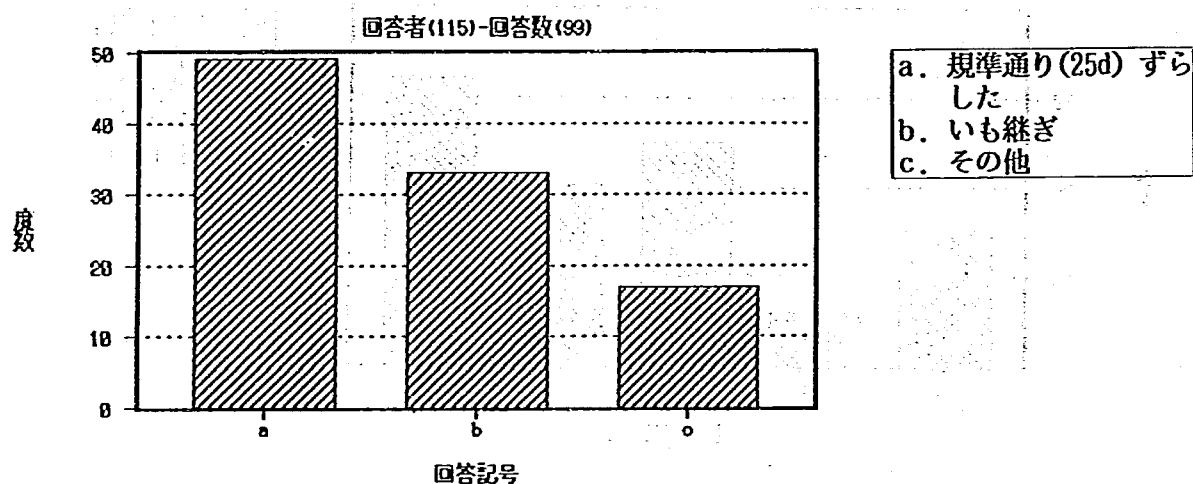


図-4.4.25 継手位置

6) 製作方法

ユニット鉄筋の製作方法の集計結果を図-4.4.26に示す。現場ヤードでの製作が75%をしめている。

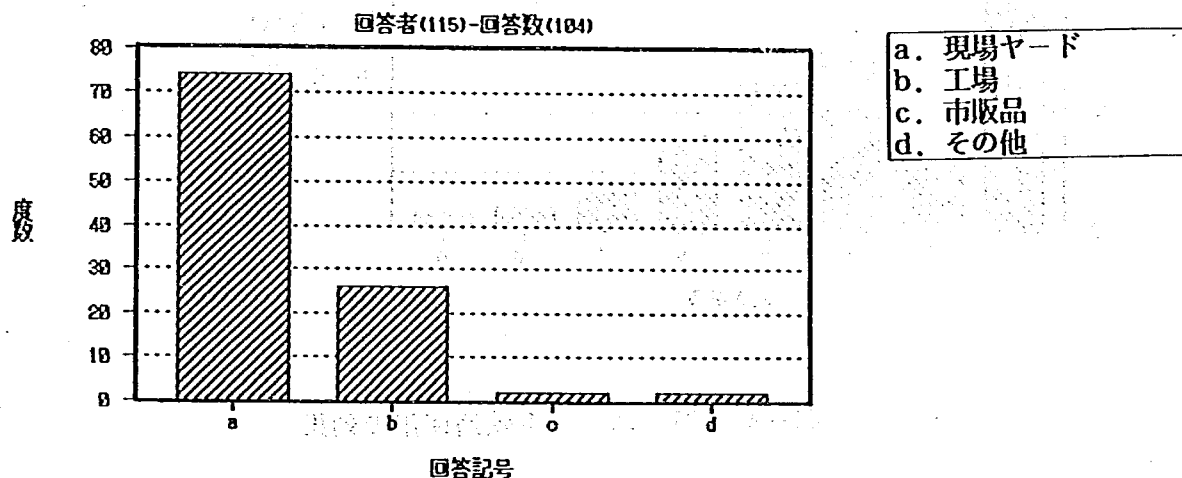


図-4.4.26 製作方法

7) ユニット化の効果と将来展望

図-4.4.27にユニット化による効果の集計結果を示し、図-4.4.28に将来展望に関する集計結果を示す。

ユニット化を採用したことにより、工事のスピードアップが図れたとする回答が1位、ついで省人化が図れたとするものが2位であった。一方、作業の安全性の向上、あるいはコストダウンには余り寄与していないようである。

次に、ユニット化についての将来展望としては、設計時点でユニット化を前提とする検討の必要性が強く望まれており、この点が考慮されれば、現状で効果が余り無いとされたコストダウンも将来は期待できるものと思われる。

また、技術的には継手の問題を解決する必要がある、現状でも重ね継手の30%を占めるいも継手の指針や施工指針の整備が必要である。

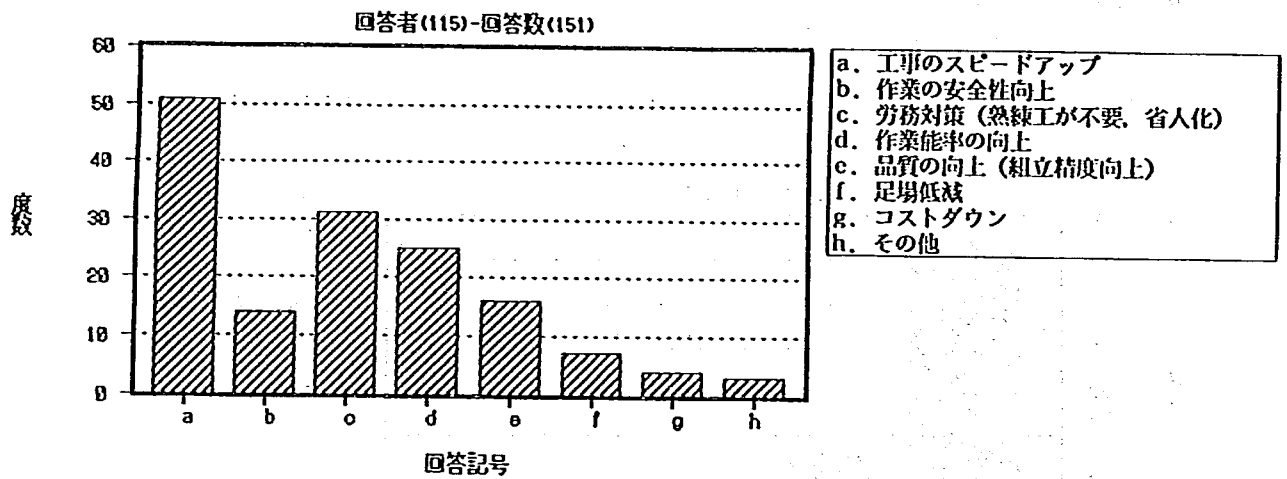


図-4.4.27 ユニット鉄筋使用の効果

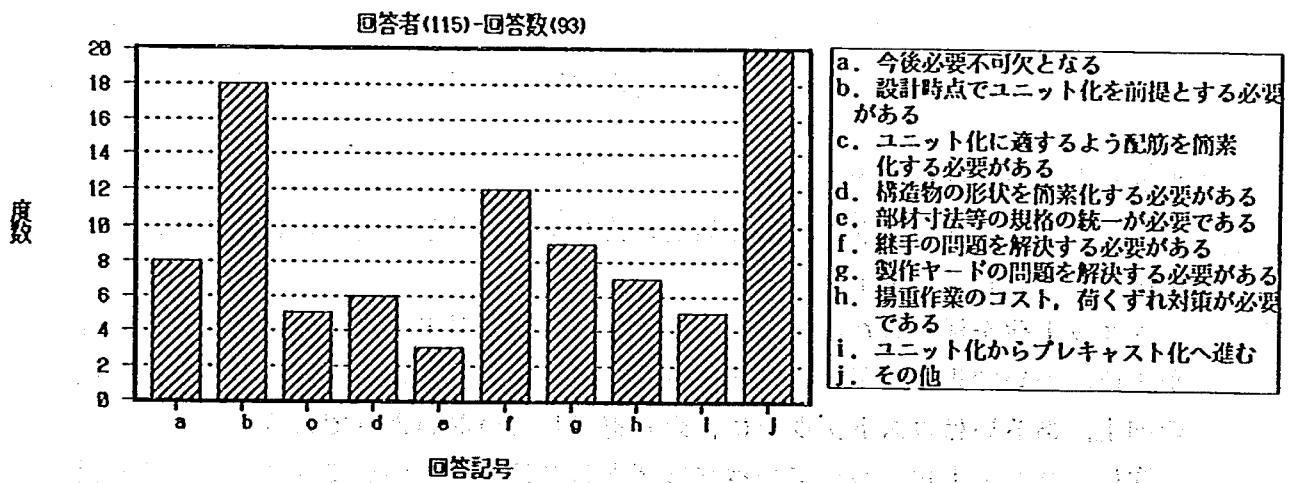


図-4.4.28 将来展望

4. 4. 5 ま と め

アンケートの結果を鉄筋工事の自動化の観点から総合的に見てみると、当然のことながら、施工の段階で鉄筋工事の自動化・合理化を図るのではなく、設計の段階で考慮することが最も重要であることが指摘されている。また、この共同研究において今後の研究テーマとするべき問題としては二つの課題が上げられると考えられる。

一つは鉄筋の電気溶接に関してであり、鉄筋のユニット化や組立ての確実化・スピードアップのためには鉄筋の電気溶接が不可欠であり、溶接を積極的に採用していくためのわかりやすい指針や施工基準の設定が必要と考えられる。この鉄筋のユニット化や組立てへの電気溶接の適用に関しては基本的な実験が終了しており、可能性は十分である。従って、わかりやすい指針や施工基準の設定するために、より具体的な実験（例えば、溶接状態を写真で示すことができるような実験）等を追加して行うことが必要である。

もう一つは、ユニット鉄筋の継手に関してであり、特に、重ね継手（いも継手）についてのわかりやすい指針や施工基準の設定が必要と考えられる。この重ね継手（いも継手）に関しても基本的な実験は終了しているので、必要であれば追加の実験を行い、わかりやすい指針や施工基準の設定をしなければならない。

以上述べたように今後の研究テーマとするべき課題を抽出出来たと考えられるので、今回のアンケートの目的は達成できたと考えている。

5. 全数継手載荷実験

5. 1 実験目的

鉄筋組立ての合理化を図る方策の一つにユニット鉄筋の使用が考えられている。しかし、現在の基準では全数継手を禁止しているため、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るなど耐久性上の問題や、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することができるため、全数継手を使用する構造物や、継手位置を限定することなどによっては全数継手を使用できるものと考えられる。

図-5. 1のように、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にユニット鉄筋を使用することを想定し、そのときに考えられる継手方法について継手強度を求め、全数継手の設計方法の確立を目的として、実験を行った。図-5. 1のAタイプは段落し位置に継手を設けた場合、Bタイプ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間隔と同じにした場合（以下、異種径の継手と呼ぶ）、Cタイプは太径の鉄筋を使用し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、2回に分けて実施した。1回目（91年度）は、図-5. 1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を求める実験、2回目（92年度）は、実際の構造物には曲げモーメントと同時にせん断力も作用するため、せん断支間内の継手強度の載荷実験を行った。

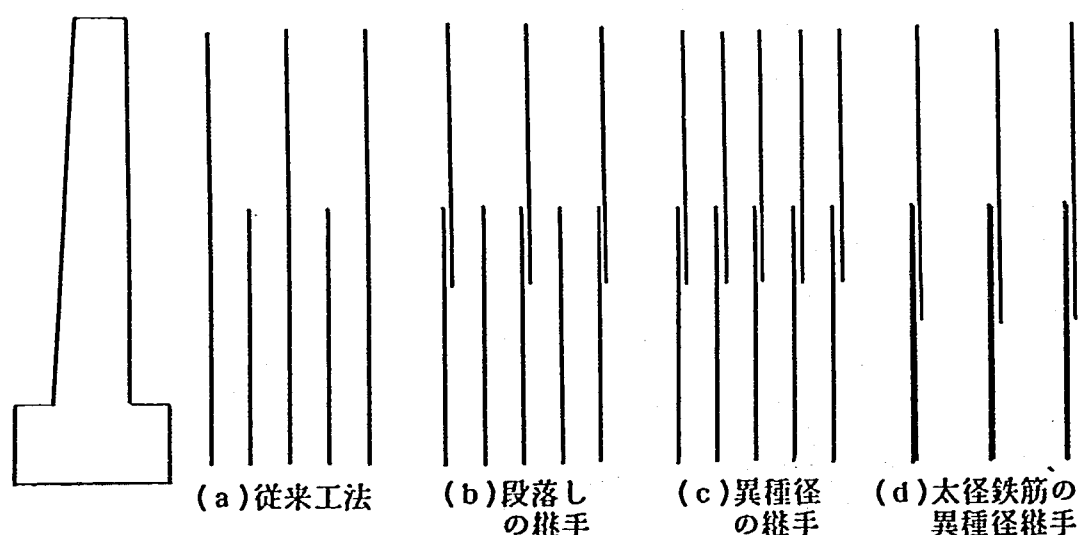


図-5. 1 想定される全数継手のパターン

5. 2 継手強度に関する実験

5. 2. 1 実験概要

(1) 供試体の種類

供試体の種類は表 5. 1 のように 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、鉄筋径 D 19、鉄筋間隔 100 mm 一定とし、継手長および継手部分の横補強量をパラメータとした。継手長は設計上必要な長さ程度 32 ϕ (60 cm) 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 21 ϕ (40 cm) の 2 種類とした。横補強鉄筋量は、通常の補強量程度 (補強 1) に対し、補強なし (補強 0)、通常の 2 倍量 (補強 2) とした。主鉄筋と横補強筋の結束は点溶接としたが、従来の結束線と比較するため、A-4 供試体は結束線による結束とした。

B シリーズは、異種径の継手を想定したものであり (図-5. 1 の B タイプ)、継手長を 40 cm 一定とした。太いほうの鉄筋 D 19 に対し 21 ϕ 、細い径に対し D 16 は 25 ϕ 、D 13 は 31 ϕ である。横補強は補強 1 とした。

C シリーズは、段落し部の全数継手を想定したものである (図-5. 1 の A タイプ)。継手長は 21 ϕ (40 cm)、補強 1 とした。継手位置では、継手は 1 本おきになっている。

D シリーズ (図-5. 1 の C タイプ) は、太径の鉄筋 (D 25) を使用し鉄筋間隔を大きくとったものであり (A シリーズ D 19 @ 100 に対し D 25 @ 150)、横補強量も 0 ~ 2 まで変えてある。

供試体の形状は図-5. 2 のようであり、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、スターラップのように折り曲げず、図-5. 2 のようにまっすぐに伸ばしたままとした。

供試体の製作は、重ね継手の結束は所定の長さを重ね合わせその両端を 0.6 mm の結束線により結束した。主鉄筋と横補強筋の結束はアーク溶接による点溶接とした。

実験は、引張側の全数継手を主目的としたが、圧縮側についても通常程度の継手長 (D 13、40 cm (ϕ 31)) を有する全数継手とし、その結束は引張側と同様とした。

コンクリートの打設は、引張鉄筋が打設面になるようにした。

(2) 使用材料

① コンクリート

使用したコンクリートの配合を表 5. 2 に示す。試験時に 210 kgf/cm² 程度の圧縮強度が得られるように定めた。標準養生 (材令 28 日) および供試体と同じ環境において養生したテストピースの供試体載荷時の圧縮強度と引張強度試験結果を表 5. 3 に示す。

② 鉄筋

使用した鉄筋の載荷試験時に行った鉄筋の引張試験結果を表 5. 4 に示す。

表 5. 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			異種径の継手			段落し部の継手	太径鉄筋 鉄筋間隔増
鉄筋量 鉄筋間隔	6-D19, ctc100			6-D19 + 6-D16, ctc100 6-D19 + 6-D13, ctc100			6-D19, ctc100 3-D19, ctc200	4-D25, ctc150
継手なし	①			—			①	①
継手長 ** 横補強	継手長	40cm (21φ)	60cm (32φ)	補強 1	継手長 40cm		② 継手長 40cm (21φ) 補強 1	継手長 80cm (32φ)
	補強			鉄筋組合せ	鉄筋細径			補強
	0	②	⑥	D19-D19	21φ	A-③		0
	1	③④*	⑦	D19-D16	25φ	②		1
	2	⑤	⑧	D19-D13	31φ	③		2

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)

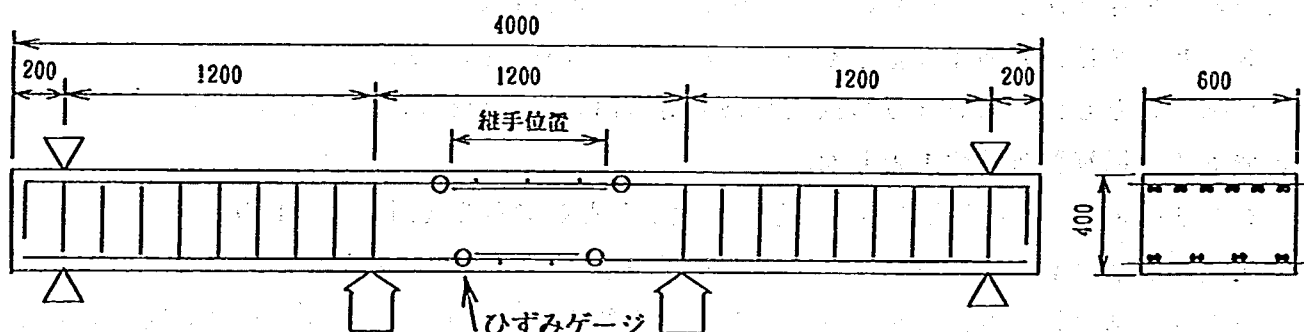


図 - 5. 2 供試体の形状

表 5. 2 コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
					水	セメ ント	細骨 材	粗骨 材 G	混和剤 cc/m³
					W	C	S	25mm 5mm	ホップリス No. 70
25	8	4	59.0	44.3	152	258	837	1058	0.645

表 5. 3 コンクリート強度 (kgf/cm²)

供試体 種類	標準養生		現場養生	
	圧縮強度	引張強度	圧縮強度	引張強度
A-1~4	209	17.0	197	21.9
A-5~8	205	21.0	206	21.4
B-2, 3 D-1, 2	243	25.1	207	24.0
C-1, 2 D-3, 4	228	21.2	233	20.9

表 5. 4 鉄筋引張強度

鉄筋種類		降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %	絞り %
D10	SD295	36.1	51.9	28.1	52.6
D13	SD345	38.2	58.1	23.0	57.2
D16	SD345	40.2	62.3	21.4	49.1
D19	SD345	40.6	56.9	24.9	59.3
D25	SD345	40.2	56.9	30.9	59.3

3) 実験方法

供試体を図-5. 3のように試験機に設置し、載荷実験を行った。

載荷パターンは、図-5. 4のように鉄筋の許容応力度、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。荷重制御時の各ピーク荷重は、ヤング係数比を1.5とした通常の弾性計算で求めた(表5. 5)。変位制御は、部材角が1/180までは中央のたわみを1mmずつ増加させ、その後は部材角が1/160、1/140、1/120、1/100、1/80、1/60、1/40、1/30、1/20になるように載荷した。

供試体載荷時には、図-5. 3および5. 5のように、重ね継手両端部の鉄筋ひずみと圧縮面のコンクリートひずみをワイヤストレーンゲージにより測定した。たわみの測定は、供試体中央および両載荷点について行い、支点沈下の補正を行うため支点部分の変位の測定も行った。ひびわれ幅は、パイ型変位計により主鉄筋の中間部の3列を測定した。

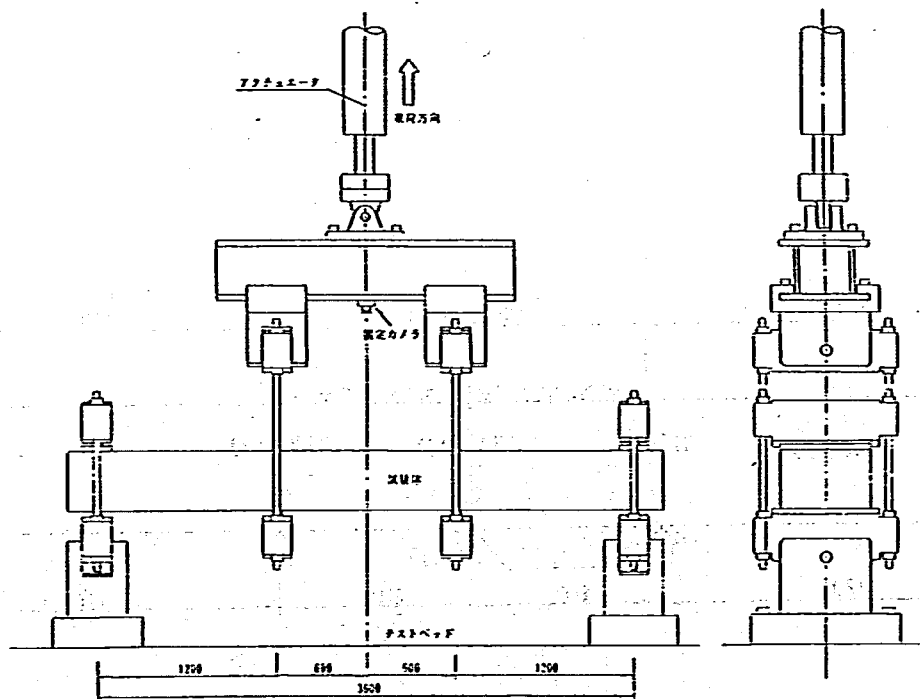


図-5. 3 載荷状況

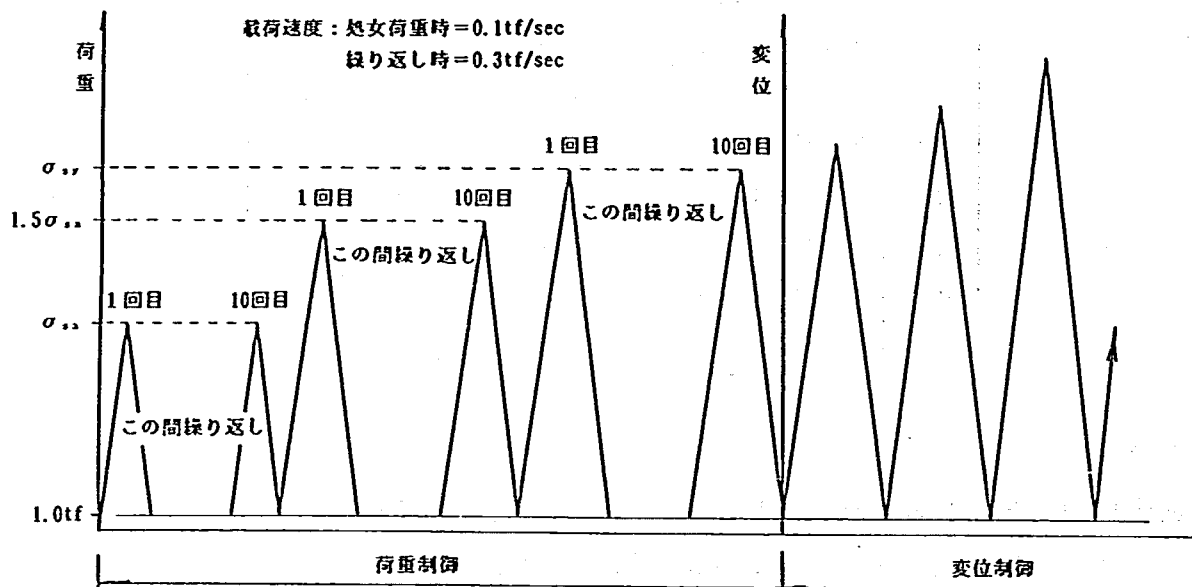


図-5.4 载荷パターン

表5.5 荷重制御時のピーク荷重(t)

供試体	ひびわれ発生荷重	許容応力度 σ_{sa}	許容の5割増し $1.5\sigma_{sa}$	降伏点 σ_{sy}
A-1~8	5.8	17.5	26.3	30.6
B-2	5.6	12.4	18.6	21.7
B-3	5.3	8.0	12.0	14.0
C-1,2	5.4	9.0	13.5	15.8
D-1~4	6.1	20.5	30.8	35.9

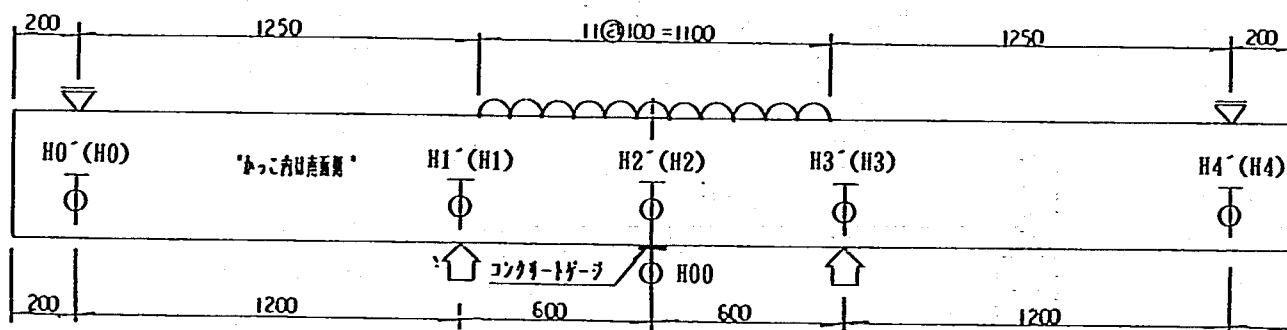


図-5.5 たわみ、ひびわれ幅測定位置

5. 2. 2 実験結果

(1) ひびわれ、破壊パターン

ひびわれ・破壊状況を図-5. 6に示す。付着割裂破壊は図-5. 7の3タイプに分類できる^{5, 2)}。今回の実験では、継手のない供試体および異種径の継手(B-2、B-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サイドスプリットタイプの破壊であった。

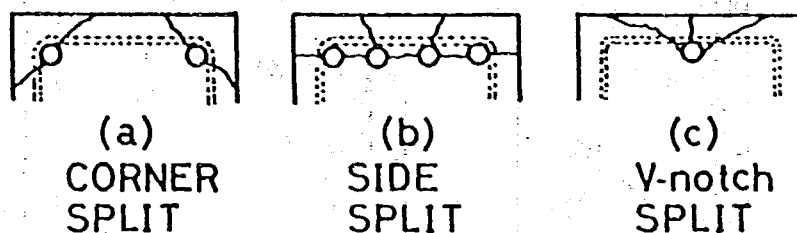


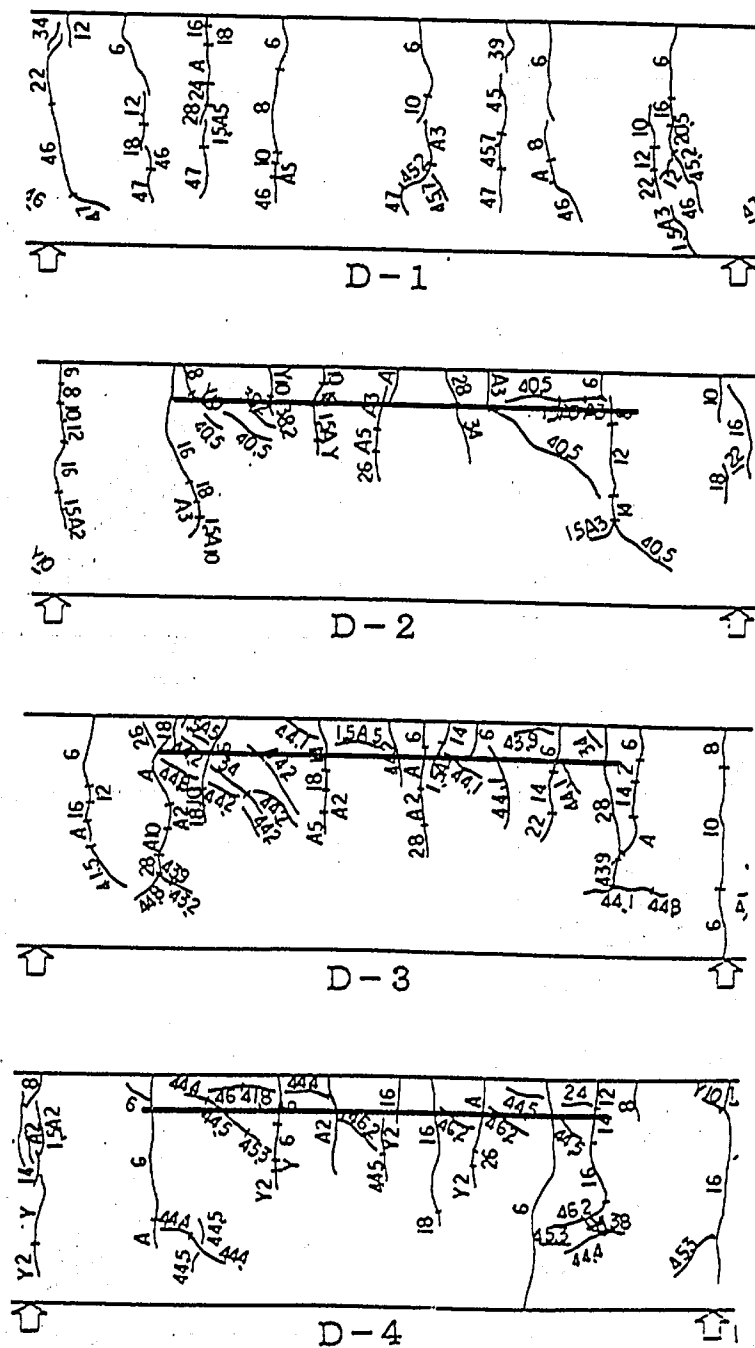
図-5. 7 付着割裂破壊パターン

(2) 荷重とたわみの関係

荷重とたわみの履歴曲線を図-5. 8に、要因ごとの包絡曲線を図-5. 9に示す。また、各繰返し荷重段階ごとの初期のたわみ(初期剛性)と10回繰返しによるたわみの増加量を、継手がない場合のたわみの計算値と比較したのが図-5. 10である。

図-5. 8および5. 9より、各要因ごとの特徴は以下のとおりであった。

- ① 継手長は、長いほうが(21φおよび32φ)耐力は増加した。
- ② 太径の鉄筋を使用し、鉄筋間隔を大きくした場合(D19-φ100に対しD25-φ150)もほぼ同じ挙動であった。
- ③ 異種径の継手とし、同じ継手長(40cm)とした場合、鉄筋径が細くなるほど継手強度が増加し、継手耐力(細径の鉄筋量に対して)、変形性は改善された。
- ④ 段落し部に継手を設けた場合、継手長21φ(40cm)でも実降伏荷重までは耐力を確保できたが、それ以後の変形は低下した。
③と④を比較すると、つなぐ鉄筋量がほぼ同じ場合、段落しのように1本おきの継手とせず、細径の鉄筋を全部つなぐ方が継手耐力、変形性には有利である。
- ⑤ 横補強筋の効果は、Aシリーズ(D19)の場合継手長21φ、32φとも明確ではなかったが、Dシリーズ(D25)の場合は、補強量が増加するほど耐力、変形性は向上した。
また、図-5. 10より繰返しの影響は、Bシリーズを除き以下の特徴があった。
- ① 初期のたわみは、継手がない場合に比べ若干小さくなっており、重ね継手により初期剛性は増加した。
- ② 繰返しによるたわみの増加は、継手がない場合に比べ、破壊直前の急激な増加を除けば1.2~1.5倍であった。
- ③ Bシリーズは、細径になるほど小さくなる傾向であった。



D-4

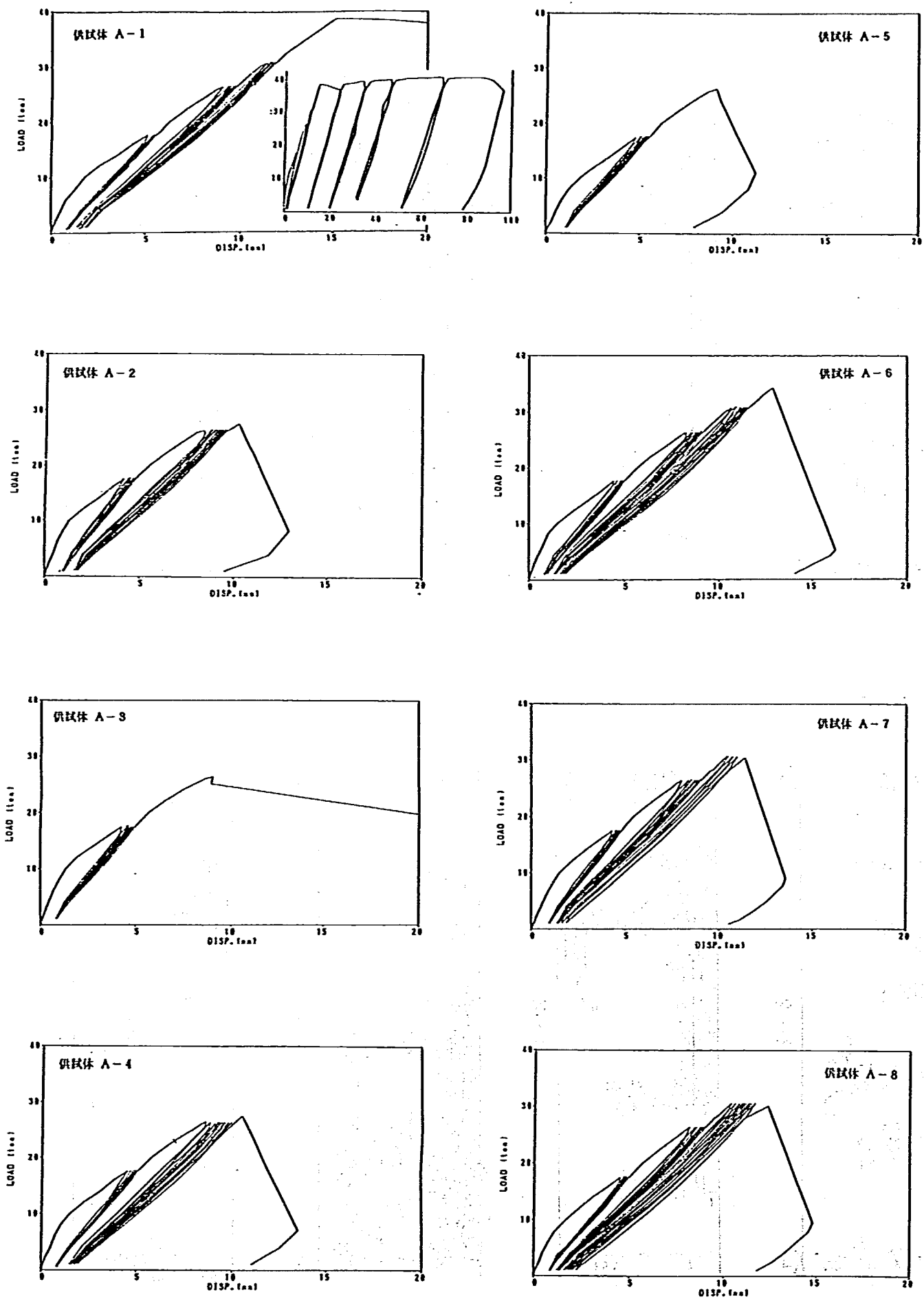


図-5.8 荷重たわみ履歴曲線(その1)

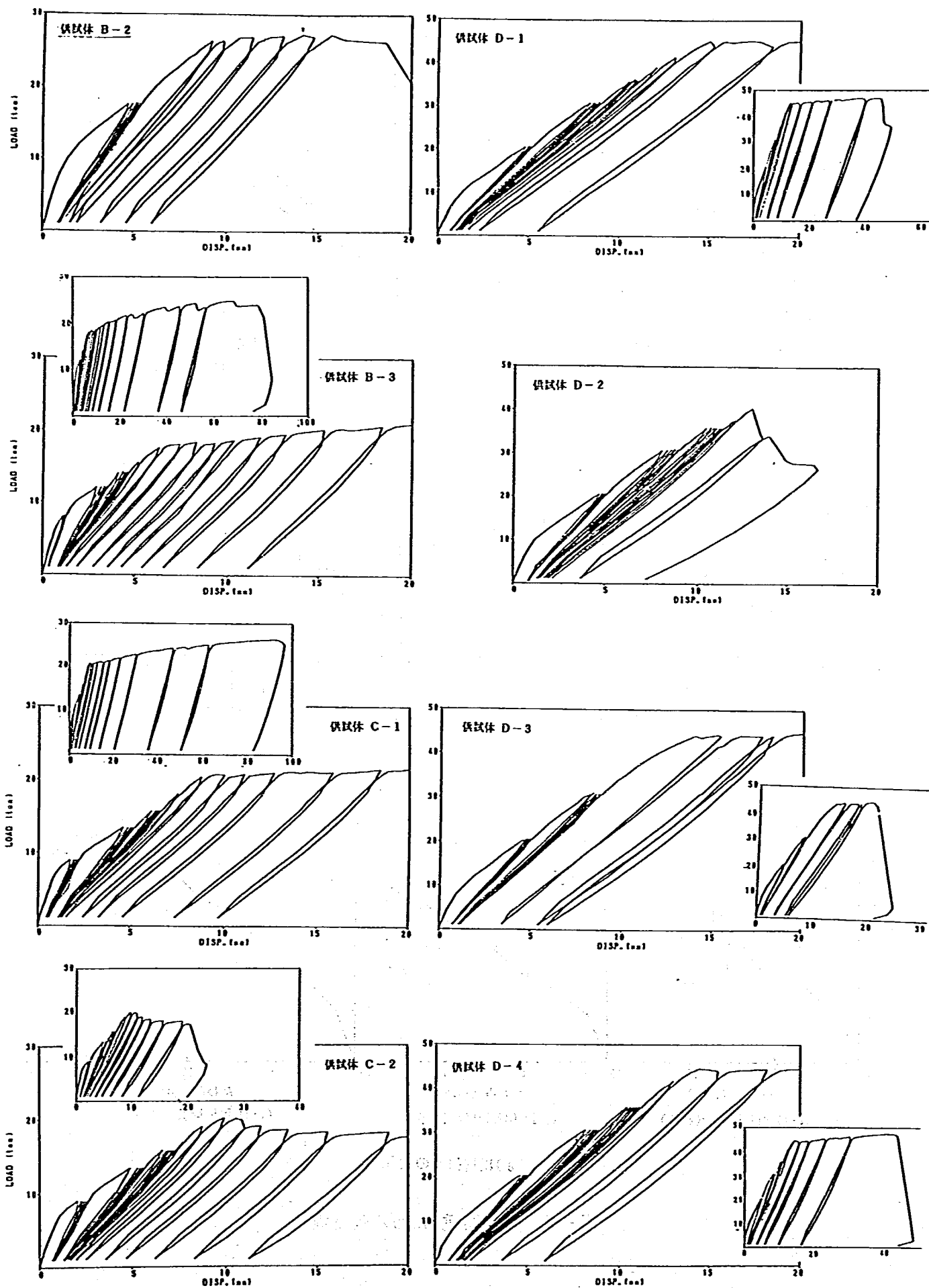
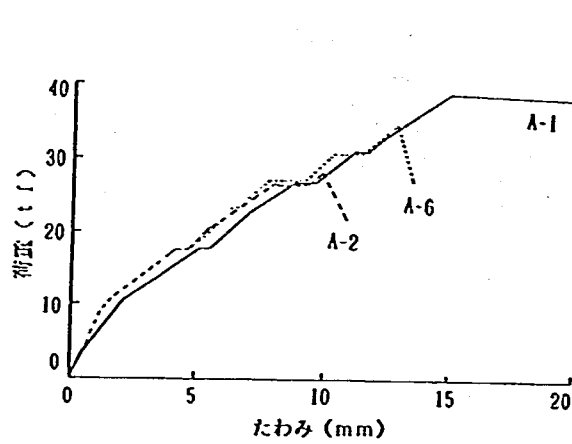
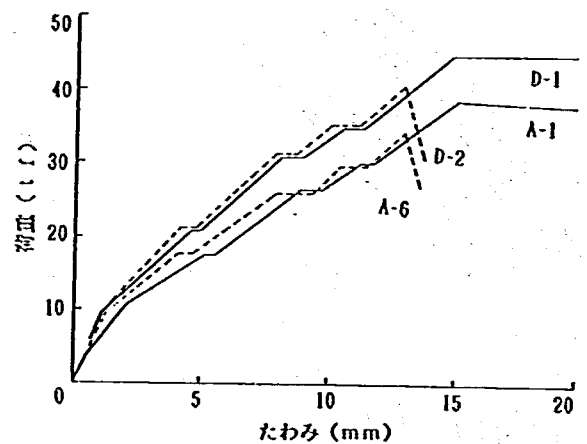


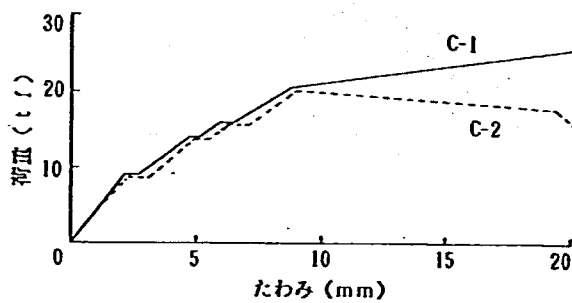
図-5.8 荷重たわみ履歴曲線(その2)



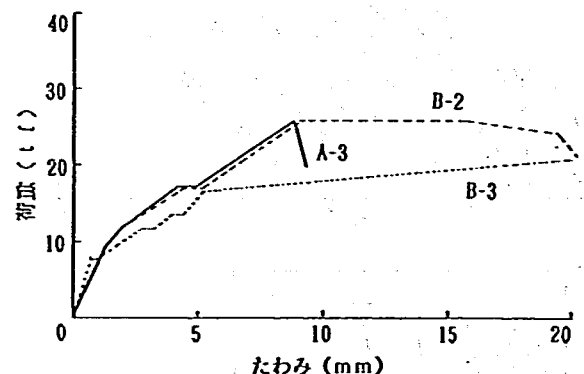
(a) 継手長



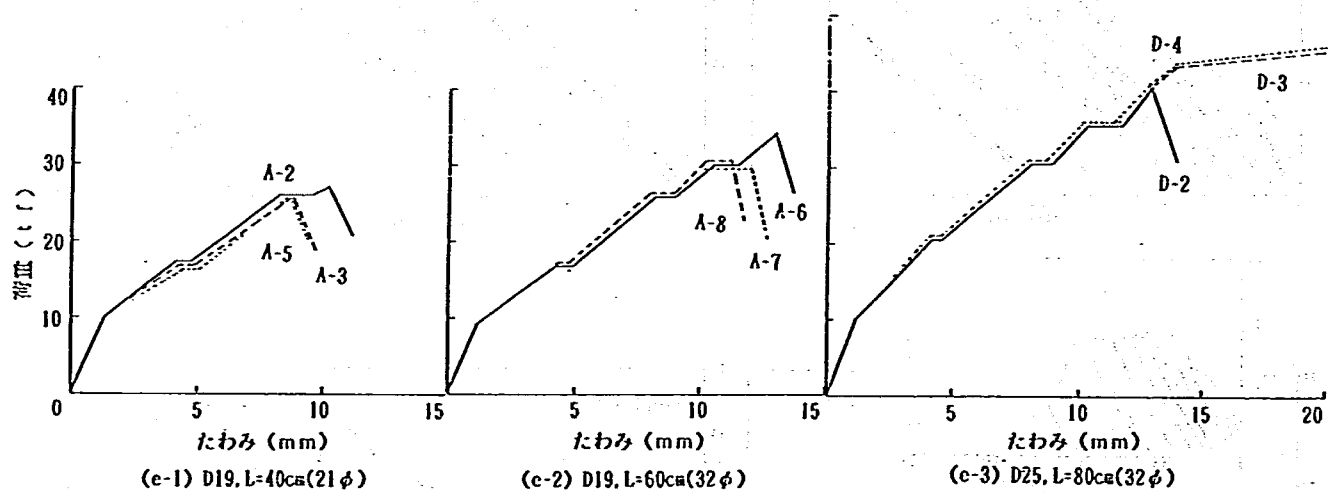
(b) 太径鉄筋(鉄筋間隔)



(d) 段落し部の継手



(c) 異径鉄筋の継手



e) 横補強筋の効果

図-5.9 荷重-たわみ包絡線

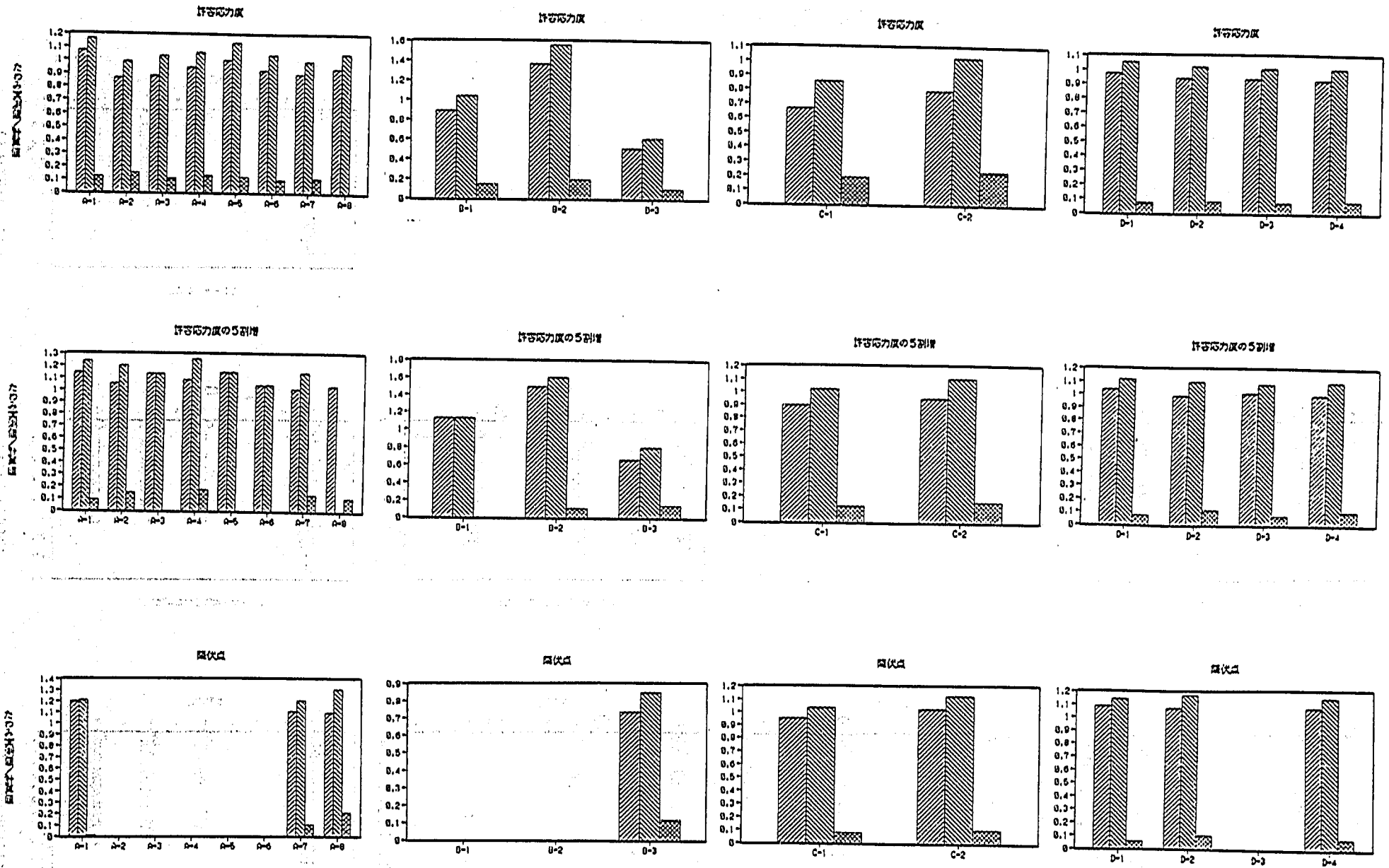


図-5.10 たわみ(繰り返しの影響)

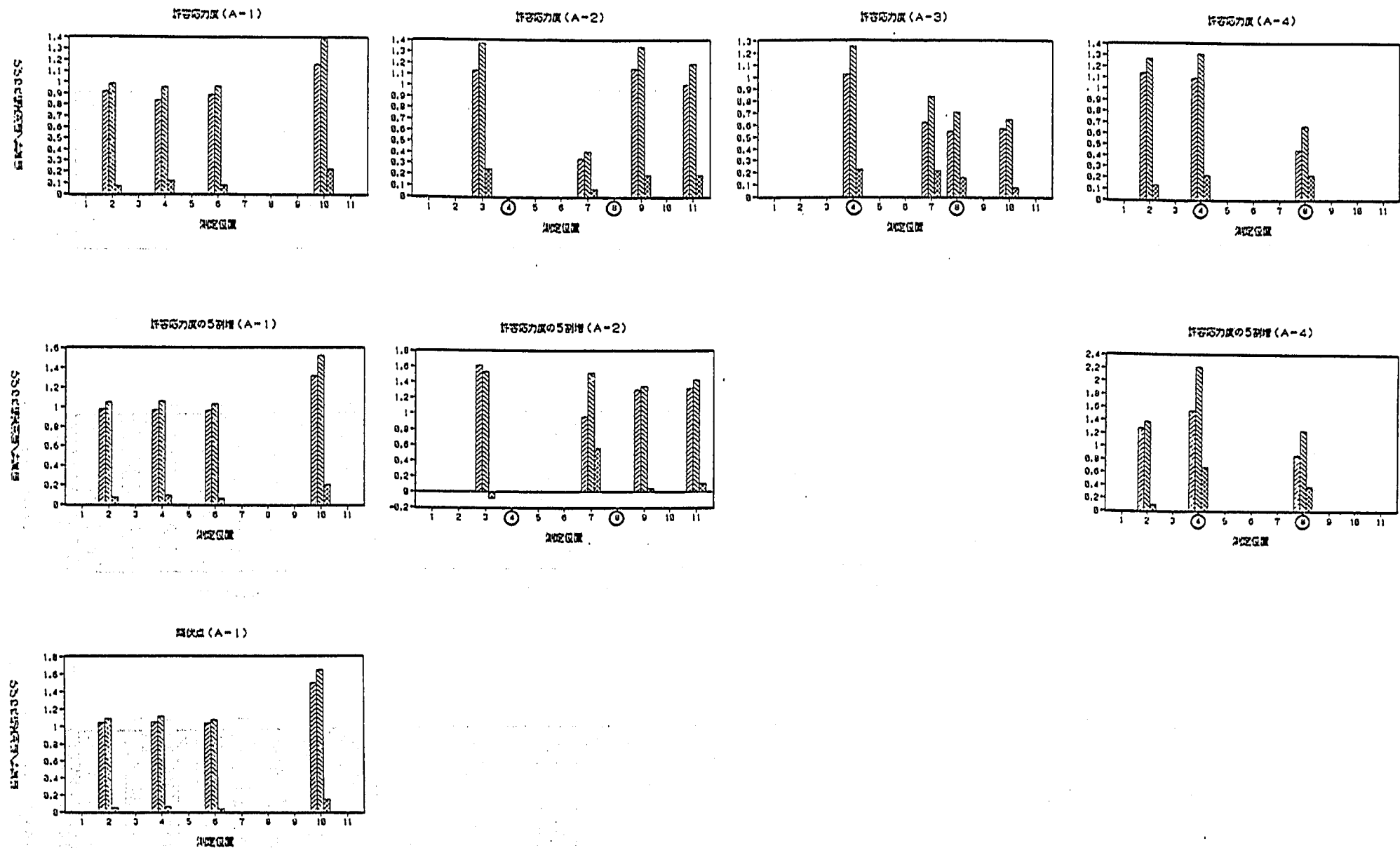


図-5.11 ひびわれ幅 (繰り返しの影響) (その1)

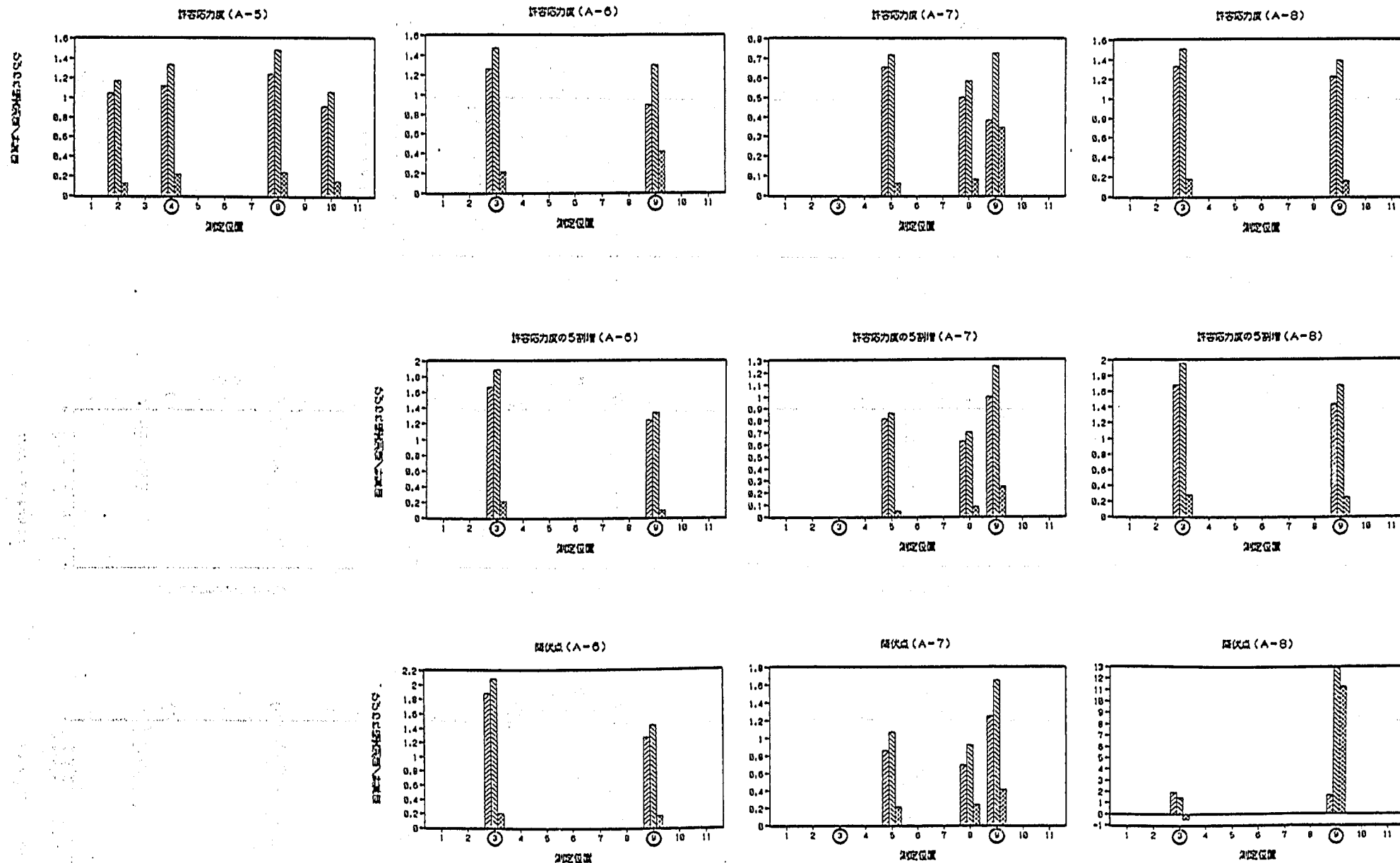


図-5.11 ひびわれ幅 (繰り返しの影響) (その2)

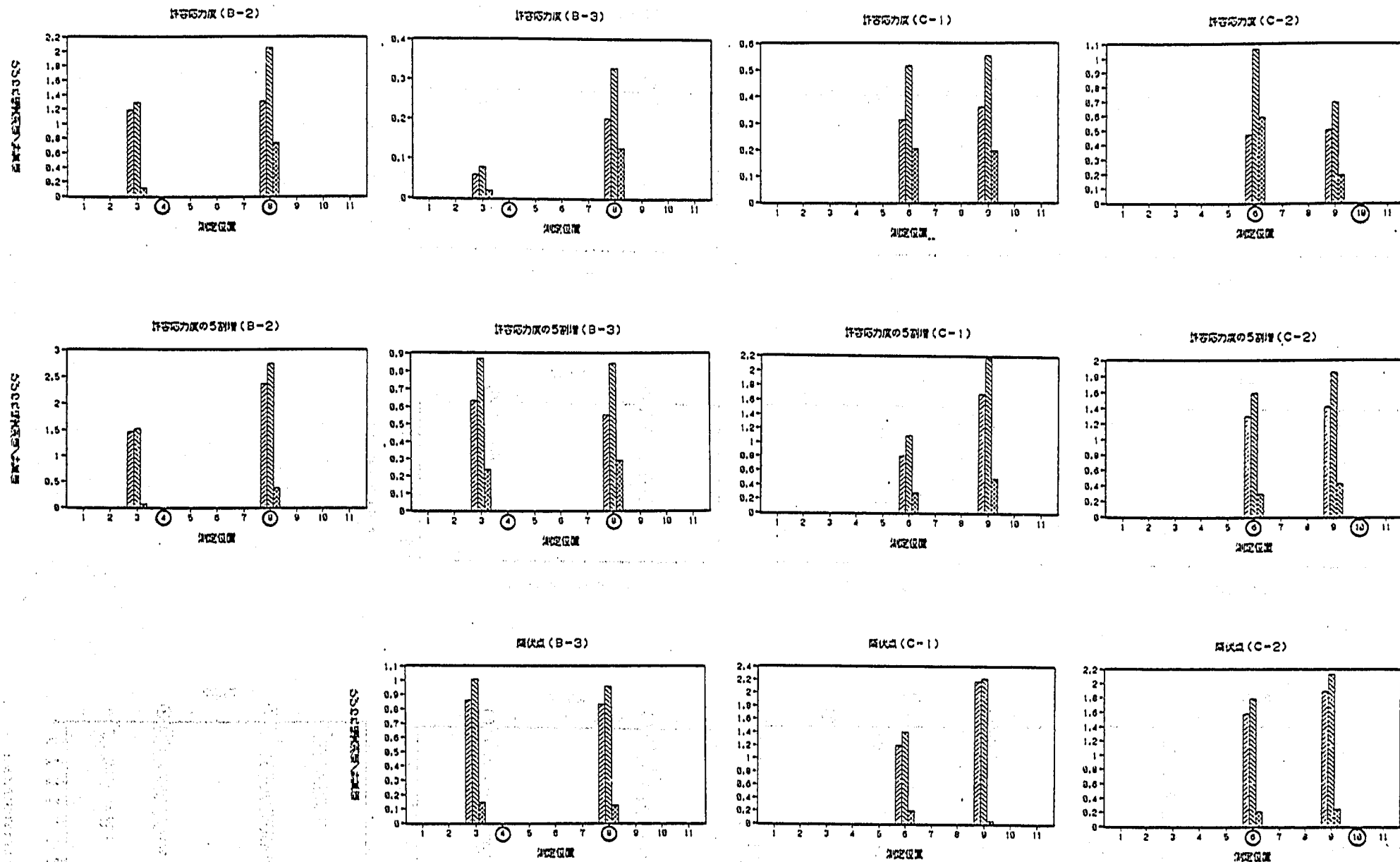


図-5.11 ひびわれ幅 (繰返しの影響) (その3)

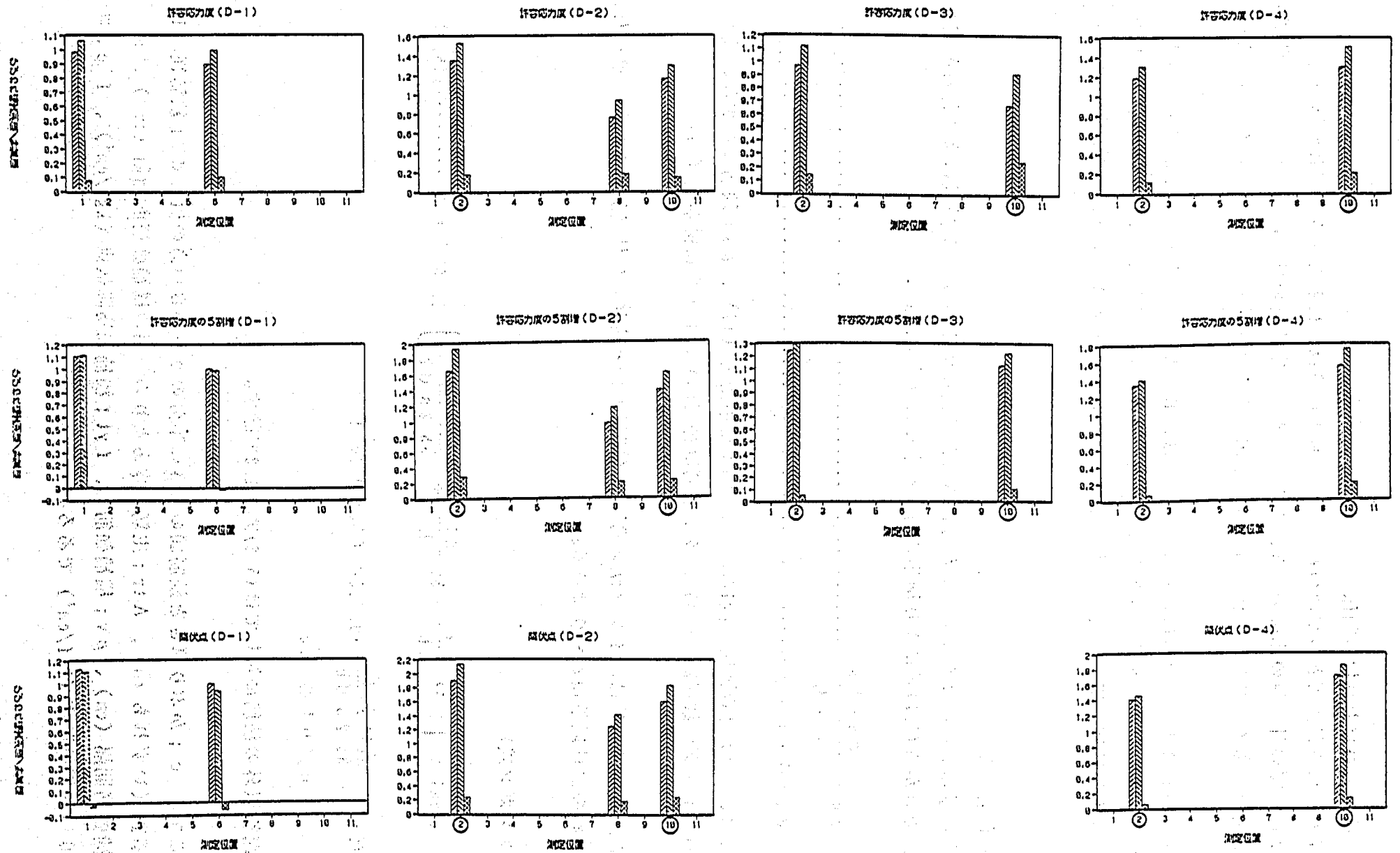


図-5. 11 ひびわれ幅 (繰り返しの影響) (その4)

(3) 荷重とひびわれ幅の関係

各繰返し荷重段階ごとの初期のひびわれ幅および繰返しにともなうひびわれ幅の増加量とひびわれ幅の計算値の比を図-5.11に示す。測定位置の番号に○のついている位置が継手端部である。ひびわれ幅の計算は、土木学会「コンクリート標準示方書」の式を用いた。

初期ひびわれ幅、繰返しにともなう増加量は、Bシリーズを除き、継手がない場合より初期ひびわれが最大で2倍、繰返しによる増加量は3倍程度も大きくなった。とくにDシリーズ（太径鉄筋使用）が大きい傾向を示した。Bシリーズは細径ほど小さい傾向であった。

(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、(5.1)式により付着強度を求め、それから(5.2)式により継手の耐力を求めた（表5.6）。

$$\tau_u = \frac{\varepsilon_s \cdot E_s}{\phi \cdot L} \dots\dots\dots (5.1)$$

$$V_u = \phi \cdot L \cdot \tau_u \dots\dots\dots (5.2)$$

ここに、 τ_u ：付着強度（kgf/cm²）、 V_u ：継手耐力（tf）、 ε_s ：鉄筋のひずみ、 E_s ：鉄筋のヤング係数（kgf/cm²）、 ϕ ：鉄筋直径（cm）、 L ：重ね継手長（cm）

表5.6の解析値は、オランガン式^{5.1)}（解析1）と藤井式^{5.2)}（解析2）から求めた。それぞれの式は以下のとおりである。

〈オランガン式〉

$$\tau_{cal} = \left[1.2 + \frac{3c}{db} + 50 \frac{db}{L} + \frac{A_{tr} f_{yt}}{35.2 s db} \right] \cdot 0.265 \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (5.3)$$

$$\text{ただし、} \frac{A_{tr} f_{yt}}{35.2 s db} \cdot 0.265 \sqrt{f'c} \leq 0.8 \sqrt{f'c}$$

$$c / bd \leq 2.5$$

下端筋以外の鉄筋に対しては(5.3)式を1.3で除す。

ここで、 c ；かぶり厚さと鉄筋間のあきの半分のうち小さい方の値、 db ；鉄筋径、 L ；付着長（いずれも cm）、 A_{tr} ；主筋1本あたりの一組の横補強筋断面積（cm²）、 s ；横補強筋間隔（cm）、 ρ_v ；横補強筋比、 f_{yt} ；横補強筋降伏点（kgf/cm²）、 $f'c$ ；コンクリート圧縮強度（kgf/cm²）である。

(5.3)式中の右辺第4項は横補強筋の効果を見込んだものであるが、その中の A_{tr} は図-5.12のように横補強筋の隅角部の効果を考慮したものであり、ここでは無視することとする。

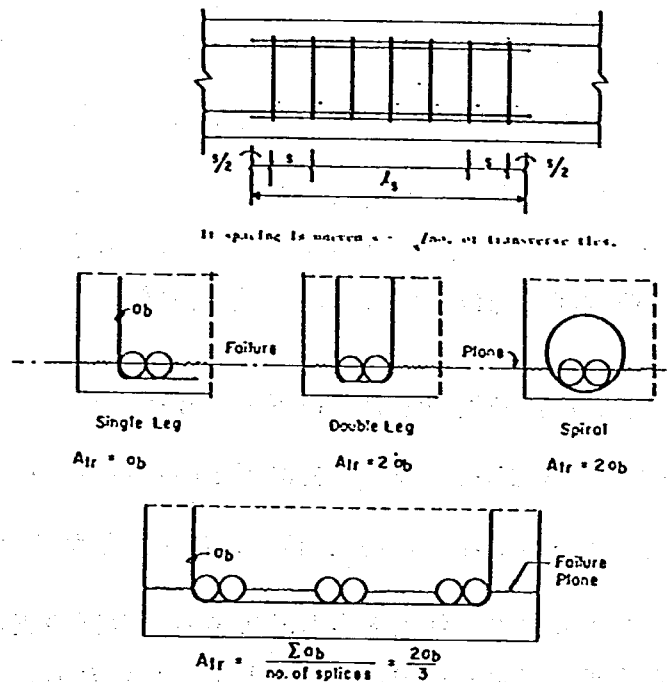


図-5.12 横補強筋の効果

〈藤井式〉

単調載荷時、水平上端筋に対して

$$\tau_u = \tau_{co} + \tau_{st} \quad \dots\dots\dots (5.4.1)$$

横補強筋のない場合の付着強度は τ_{co} は、

$$\tau_{co} = (0.307 b_i + 0.427) \cdot \sqrt{f'c} \quad \dots\dots\dots (5.4.2)$$

横補強筋による付着強度増分 τ_{st} は、

$$\tau_{st} = 24.9 \cdot k A_{st} / s N d b \cdot \sqrt{f'c} \quad \dots\dots\dots (5.4.3)$$

割裂パターンを判定する尺度“ b_i ”は、以下の b_{vi} 、 b_{ci} 、 b_{si} の最小値で与える(図-5.13参照)。

$$\left. \begin{aligned} b_{vi} &= \sqrt{3} \cdot \left\{ \frac{2 \cdot c_{min}}{d b} + 1 \right\} \\ b_{ci} &= \sqrt{2} \cdot \left\{ \frac{c_s + c_b}{b d} - 1 \right\} - 1 \\ b_{si} &= \frac{b}{N d b} - 1 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.4)$$

割裂パターンの相違による横補強筋効果の差異を表現する係数 k は以下に定める。

$$\begin{aligned} b_i = b_{vi} \text{ の時} & \quad k = 0 \\ b_i = b_{ci} \text{ の時} & \quad k = \sqrt{2} \\ & \quad (\text{この場合は } N = 2 \text{ とする}) \\ b_i = b_{si} \text{ の時} & \quad k = 1 \end{aligned}$$

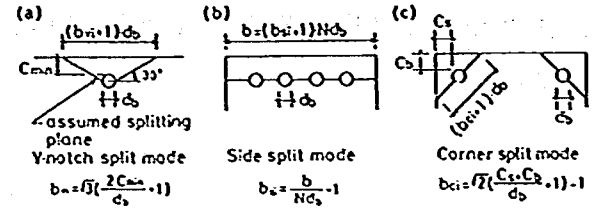


図-5.13 付着割裂パターンごとの b_i

ここで、 c_s ；側面かぶり厚さ、 c_b ；底面かぶり厚さ、 d_b ；主筋径、 b ；はり幅、 s ；横補強筋間隔、 c_{min} ；最小かぶり厚さ（側面、底面かぶりの小さい方）、（いずれも cm ）、 f'_c ；コンクリート圧縮強度 (kgf/cm^2)、 N ；主鉄筋本数、 A_{st} ；一組の横補強筋全断面積 (cm^2)。

ただし、横補強筋による拘束効果の限界を以下のように定める。

$$\tau_{st} = 24.9 \cdot k \cdot A_{st} / N d_b \cdot \sqrt{f'_c} \leq 0.87 \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (5.4.6)$$

水平上端筋以外の鉄筋については上式(5.4.1)に1.22を乗じた値とする。

(5.4.3) 式は隅角部と辺の途中の効果を合わせてある。今回の実験は、幅の広い構造物を対象としており、隅角部を有する補強筋は設置していないため、原典(図-5.14)より辺の途中のみの効果を評価することとした。図-5.14の(a)図は隅角部の効果、(b)図が辺の効果であり、今回の実験対象は横補強筋の隅角部がないことから辺の効果を(b)図の回帰式とし、(5.4.3)式を(5.4.7)式に置き換えた。

$$\tau_{st} = 7.63 \cdot A_w / s d_b \cdot \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (5.4.7)$$

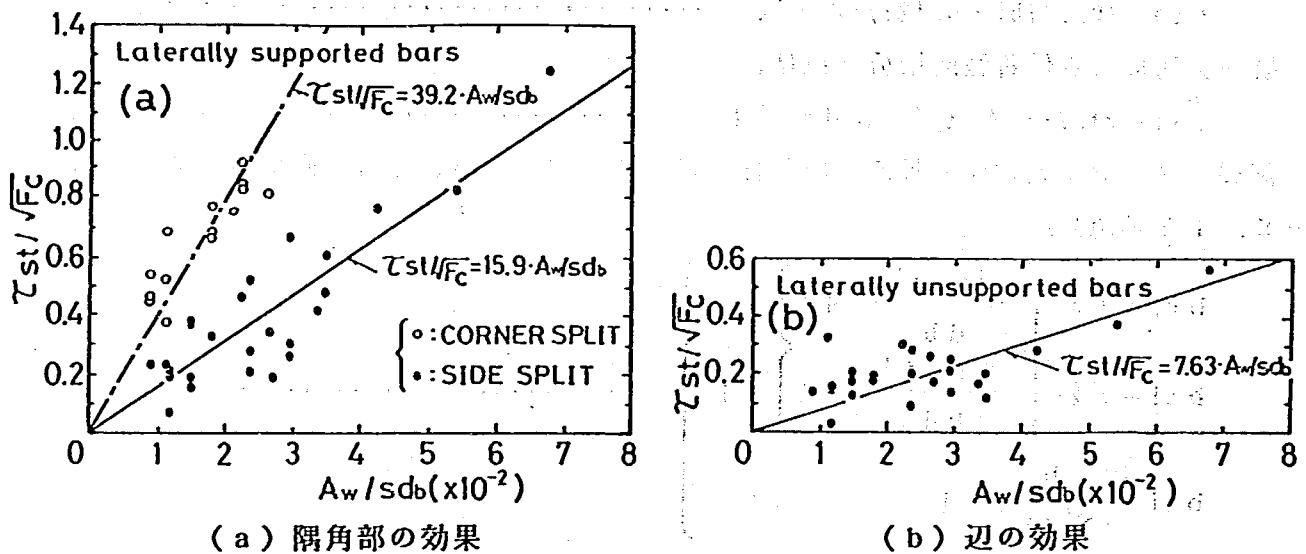


図-5.14 個々の鉄筋の横補強筋による付着強度の増分

藤井式は、このように横補強筋の辺の効果と割裂パターンの違いを表現することができるが、継手長の違いは表現できない。

表5. 6より、Aシリーズは鉄筋降伏前にすべて割裂破壊したが、B、C、Dシリーズは割裂破壊前に鉄筋が降伏したため、B、C、Dシリーズの付着強度の改善効果の詳細はわからないが、これらの方法により継手強度はかなり向上するといえる。Aシリーズについては、たわみの関係（5. 2. 2（2）節）と同様、継手長を長くすることにより付着強度は多少小さくなるものの、継手耐力は大きくなる。横補強筋の効果については、明確な関係は得られなかった。

解析値の比較では、オランガン式はすべて安全側であったが、藤井式は継手長の長い場合（A-5、7、8）が危険側であった。

表5. 6 付着強度・継手耐力

供試体	付着強度 τ_u (kgf/cm ²)					継手耐力 V_u (tf)		
	実験値	解析1	実/解1	解析2	実/解2	実験値	解析1	解析2
A-2	35.3	25.1	1.41	25.2	1.40	8.47	6.02	6.05
A-3	33.9	25.1	1.35	30.5	1.11	8.14	6.02	7.32
A-4	40.0	25.1	1.59	30.5	1.31	9.60	6.02	7.32
A-5	31.6	25.1	1.26	35.9	0.88	7.58	6.02	8.62
A-6	30.7	22.7	1.35	25.2	1.22	11.1	8.17	9.07
A-7	24.4	22.7	1.07	30.5	0.80	8.78	8.17	11.0
A-8	26.4	22.7	1.16	35.9	0.74	9.50	8.17	12.9
B-1	33.9	25.1	1.35	30.5	1.11	8.14	6.02	7.32
B-2	(39.9)	28.3	(1.41)	34.9	(1.14)	7.98	5.66	6.98
B-3	(30.2)	33.6	(0.90)	41.3	(0.73)	4.83	5.38	6.61
C-2	(48.5)	25.1	(1.93)	30.5	(1.59)	11.6	6.02	7.32
D-2	(31.8)	25.9	(1.23)	28.4	(1.12)	20.4	16.58	18.2
D-3	(31.8)	25.9	(1.23)	33.8	(0.94)	20.4	16.58	21.6
D-4	(31.8)	25.9	(1.23)	39.2	(0.81)	20.4	16.58	25.1

() : 鉄筋降伏
 解析1 : オランガン式
 解析2 : 藤井式

5. 2. 3 まとめ

(1) 実験結果のまとめ

全数継手の載荷実験の結果、以下のような傾向のあることがわかった。

- ① 継手長を長くすることにより、付着強度は減少傾向にあるが、継手耐力は向上する。
- ② 太径の鉄筋を使用して鉄筋間隔を大きくとることにより鉄筋のあきが大きくなり、コンクリートの割裂強度が増加し、継手耐力は向上する。しかし、ひびわれ幅は大きくなるので、どの程度まで太径の鉄筋を使い、間隔を大きくできるかの検討が必要である。
- ③ 異種径の継手により、継手耐力および変形性は大幅に向上する。また、繰返しによるたわみ、ひびわれ幅の増加も、細径の鉄筋にするほど有利である。
- ④ 段落し位置に全数継手を設けた場合も、継手は1本おきとなるため、変形性は多少低下したものの、強度的にはほとんど問題ない。
- ⑤ 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。

(2) 全数継手の設計方法への適用にあたって

以上の結果により、よう壁のように幅が広い構造物の段落し位置に全数継手を設ける場合、下側の鉄筋量の多い方は、耐久性などで基準に抵触しない範囲で鉄筋間隔を大きくとることにより、割裂強度を大きくとることができる。また、そのほうが作業性が改善される可能性がある。

全数継手位置は、異種径の継手により細径の鉄筋を全数つなぐことによって、全数継手の強度を向上することができ、ひびわれ幅なども小さく抑制することができる。さらに改善するためには、継手長を長くすることが有効と考えられる。

【参考文献】

5. 1) C. Orangun, J. O. Jirusa, and J. E. Breen: A Reevaluation of Test on Development Length and Splice, ACI Journal, 1977. 3
5. 2) 藤井、森田：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究—第1報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果、建築学会論文集、第319号、1982. 9、—第2報 付着割裂強度算定式の提案、建築学会論文集、第324号、1983. 2

5. 3 せん断力の影響に関する実験

5. 3. 1 実験概要

(1) 全数継手の設計方法の考え方

前節の結果より、全数継手の設計方法（以下、設計案）を表5. 7のように考えた。この設計方法が安全性を十分もった妥当なものかを確認することを目的に載荷実験を行った。また、通常の構造物は曲げモーメントと同時にせん断力の作用も受けることから、せん断力の影響についても検討することとした。

表5. 7 全数継手設計方法案

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. 適用範囲：標準設計（案）のユニット鉄筋
繰返し荷重の少ない部材2. 継手方法：異種径の継手3. 継手位置：段落とし規定を満足する<ol style="list-style-type: none">a. 鉄筋の引張応力度が許容応力度の$1/2$以下b. 平均せん断応力度が許容せん断応力度の$2/3$以下4. 継手長：基本定着長の1.3倍 |
|--|

(2) 供試体の種類

曲げモーメントとせん断力が作用する区間のモーメント分布、引張応力分布は図-5. 15のようになる。表5. 7の設計案の安全性を検討するため、以下のように実験の要因を変化させた。詳細は表5. 8および図-5. 16のとおりである。

- ① 継手位置、継手長について（供試体B～F）
 - ・ 継手先端（モーメントの大きい側）の位置を設計案の位置かそれより危険側（載荷点側＝モーメントの大きい側）に移動させる
 - ・ 継手末端（モーメントの小さい側）の位置を設計案の位置かそれより危険側（載荷点側＝モーメントの大きい側）に移動させる
 - ・ 継手長を基本定着長程度（約 30ϕ ）とその $2/3$ に変化させる
- ② せん断力の影響について（供試体B、G～J）
 - ・ 鉄筋本数を変化させる（供試体G、B、H）ただし、鉄筋本数を変化させると鉄筋間隔も変化し、割裂面積が異なるため、
 - ・ 鉄筋径を変化させる（供試体I、B、J）

供試体の製作は、重ね継手の結束は所定の長さを重ね合わせその両端を結束線を用いて行った。横補強筋（主鉄筋直角方向の鉄筋、配力筋に相当）は、幅の広い構造物を対象にしており、まっすぐに伸ばし、スタラップなどのように折曲げによる隅角部の影響がでないようにした。主鉄筋と横補強筋の結束は、点溶接とした。

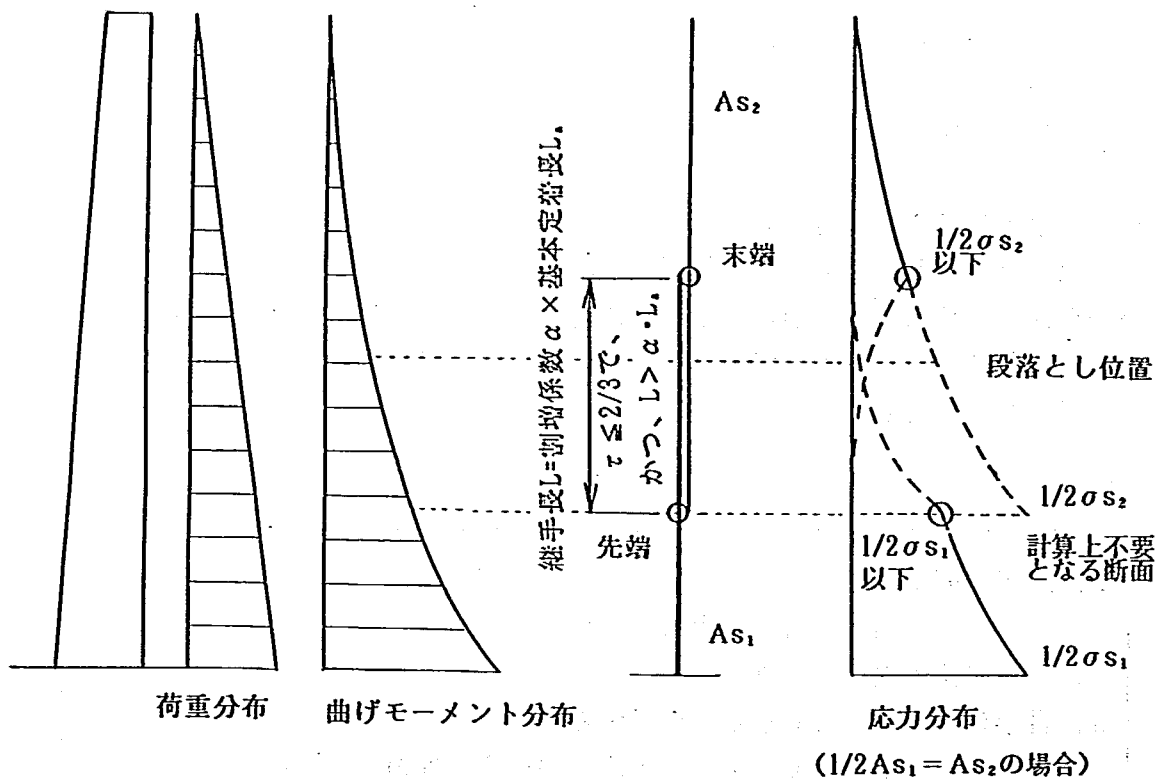
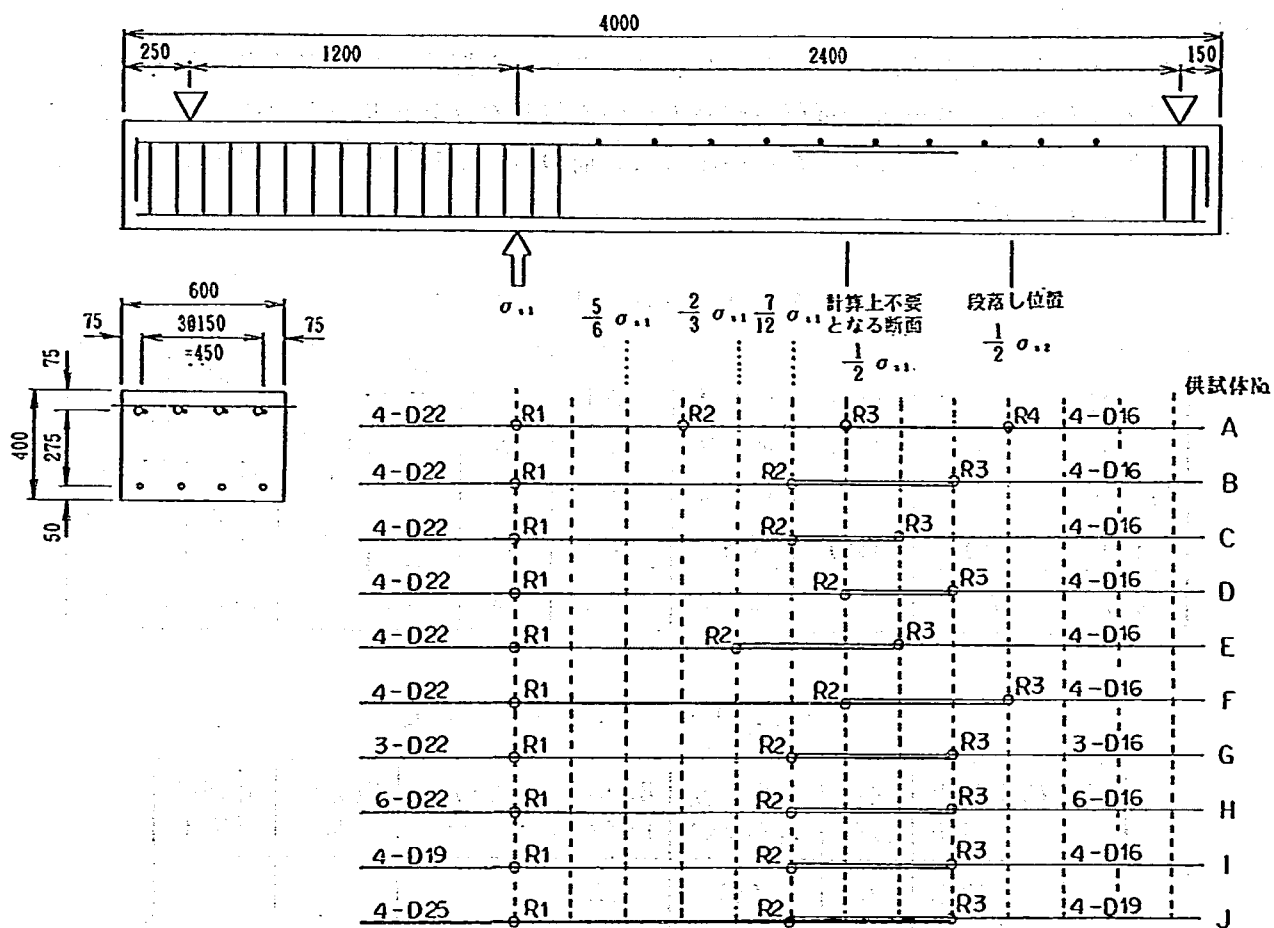


図-5. 15 曲げモーメント、引張応力分布

表5. 8 供試体の種類

供試体の種類			鉄 筋 組 合 せ		継手長 cm (ϕ)	段 落 し 位 置	
			太径 (p_t)	細径 (p_s)		継手先端	継手末端
A	継手なし		4-D22 (0.79%)	—	—	—	—
B	継 手 長 継手位置		4-D22 (0.79%)	4-D16 (0.40%)	60 (27)	$7/12 \sigma_{s1}$	$2/3 \sigma_{s2}$
C					40 (19)	$7/12 \sigma_{s1}$	$5/6 \sigma_{s2}$
D					40 (19)	$1/2 \sigma_{s1}$	$2/3 \sigma_{s2}$
E					60 (27)	$2/3 \sigma_{s1}$	$5/6 \sigma_{s2}$
F					60 (27)	$1/2 \sigma_{s1}$	$1/2 \sigma_{s2}$
G	鉄 筋 量	鉄筋本数	3-D22 (0.59%)	3-D16 (0.30%)	60 (27)	$7/12 \sigma_{s1}$	$2/3 \sigma_{s2}$
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)		



○ : ひずみゲージ応用位置(1ヶ所に用いる位置の上下各1枚、合計2枚応用)

ひずみゲージは中央の位置に應用した、やも中央に位置が近い位置等については中央寄りの位置に應用した。

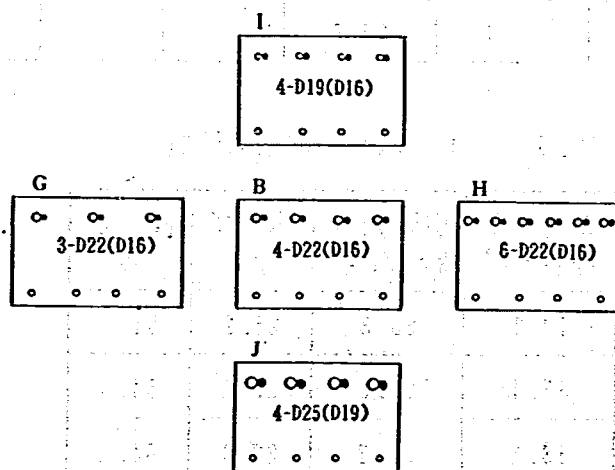


図-5. 16 供試体の形状・寸法

(3) 使用材料

使用したコンクリートの配合は表5. 9、コンクリート打設時の測定結果、および供試体と同じ養生をしたテストピースの載荷試験時と標準養生したコンクリートの圧縮と引張強度試験結果は表5. 10のとおりであった。使用した鉄筋の載荷試験時に行った引張試験の結果は表5. 11のとおりであった。

表5. 9 コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸 法 (mm)	スラッ プ の 範 囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水	セメ ント	細骨 材	粗骨 材 G	混和剤
					W	C	S	25mm 5mm	モ' リス No. 70
25	8	4	59.0	44.3	152	258	837	1058	0.645

表5. 10 コンクリート強度

供試体	養生 方法	試験 材令	圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	スラッ プ cm	空気量 %	コンクリート 温度℃
B～F	標準	28	298	27.3	7.5	4.8	21.0
	現場	24	283	23.5			
		38	290	28.2			
A、 G～J	標準	28	250	26.3	10.0	3.6	16.0
	現場	28	200	20.2			
		45	234	23.8			

表5. 11 鉄筋の機械的性質

鉄筋 径	降 伏 点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸 び %	絞 り %
D10	40.7	60.8	26.2	51.9
D13	37.4	53.9	29.2	64.5
D16	38.1	55.2	28.4	61.2
D19	39.7	59.1	25.7	53.1
D22	37.7	58.1	26.1	57.6
D25	39.6	60.3	32.7	52.2

(4) 載荷方法

載荷は、図-5. 17のように非対称の曲げ載荷とし、継手位置にせん断力が作用するようにした。載荷パターンは図-5. 18のように、荷重制御により鉄筋の許容応力度、許容応力度の1.5倍、公称降伏点で10回ずつ繰返した。供試体ごとにそれぞれのピーク荷重はヤング係数比を15とした通常の弾性計算で求めた。その後は、破壊まで変位制御により漸増繰返しを行った。各ピークの荷重および変位の設定値は表5. 12のとおりとした。

(5) 測定項目および計測方法

供試体載荷時には、図-5. 16のように、重ね継手両端部と載荷点の鉄筋ひずみを測定した。たわみおよびひびわれ幅の測定位置は、図-5. 19のとおりである。ひびわれ幅は、パイ型変位型で測定した。そのほかに、ひびわれ発生状況、破壊パターンを随時記録した。

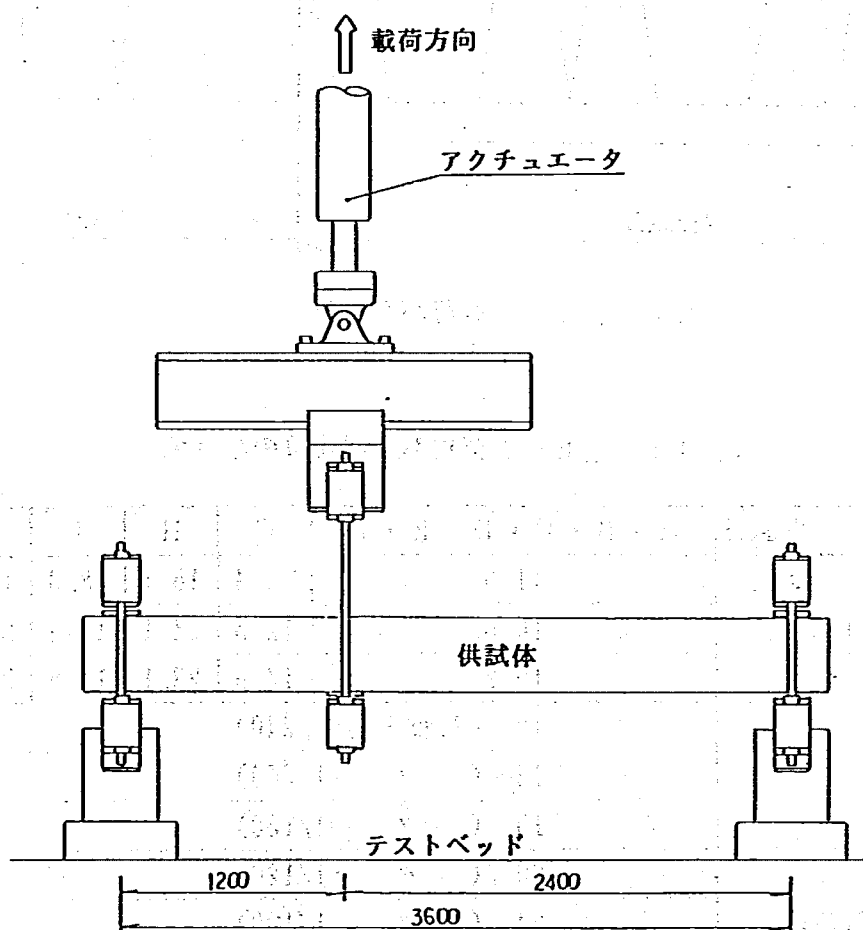


図-5. 17 載荷状況

処女荷重時：0.05tf/s
風壓荷重時：0.10tf/s

処女荷重時：0.05mm/s
 短熊荷重時：0.10mm/s

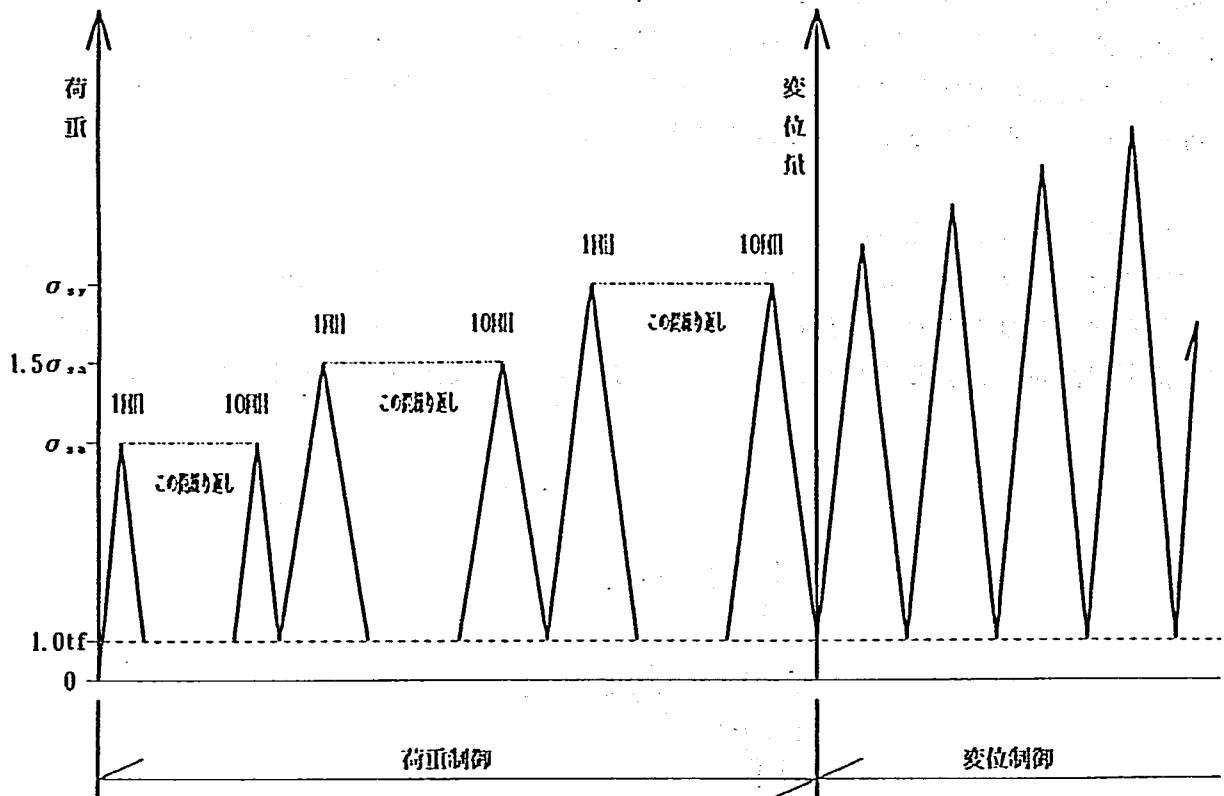


図-5.18 載荷パターン

表-5. 12 各ピーク荷重および変位の設定値

設定値		供試体	A・B・C・D・E・F	G	H	I	J
繰返し し荷重 (tf)	σ_{sa}		11.0	8.4	16.1	8.3	14.1
	$1.5\sigma_{sa}$		16.5	12.5	24.1	12.4	21.2
	σ_{sy}		19.2	14.6	28.1	14.5	24.7
変位制御時の たわみの ピーク値(㎜)			10 (たわみ角=1/240)				
			12 (" =1/200)				
			15 (" =1/160)				
			20 (" =1/120)				
			24 (" =1/100)				
			30 (" =1/ 80)				
			40 (" =1/ 60)				
			50 (" =1/ 48)				
			60 (" =1/ 40)				
	80 (" =1/ 30)						
	100 (" =1/ 24)						

Φ : 土わら測定用変位計

△ : コンクリート製の測定用型ゲージ

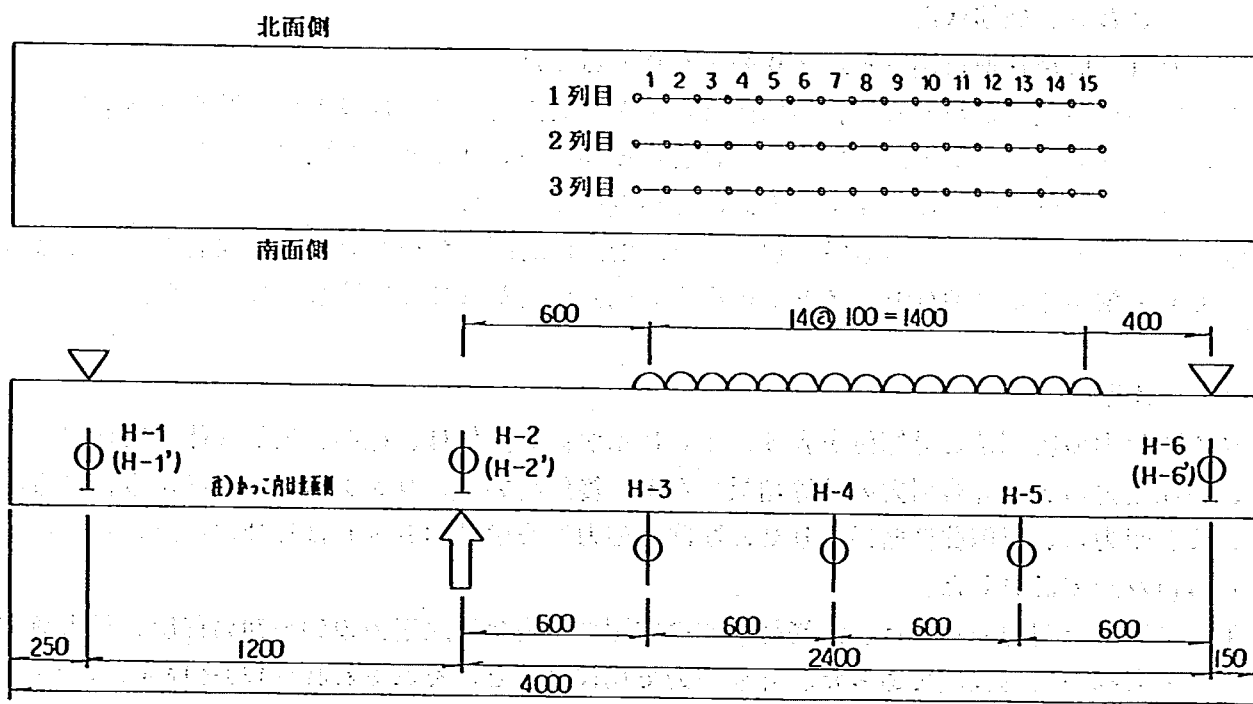


図-5.19 変位計取付位置

変位計	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5. 3. 2 実験結果

(1) ひびわれ、破壊状況

ひびわれ、破壊状況は図-5. 20のとおりであった。

- ① 継手部の割裂ひびわれは、供試体HとJが破壊直前あるいは最大荷重近くで継手先端付近（曲げモーメントの大きい側）に鉄筋にそった短いひびわれが観察された。
- ② 破壊は、供試体H以外はすべて曲げ圧縮破壊であった。
- ③ 供試体H（鉄筋量が最も多く（基準の1.5倍）、鉄筋間隔が小さい）は、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）付近からせん断破壊を起こした。

(2) せん断耐力

せん断耐力の実測値と計算値を表5. 13に示す。計算値は、標準養生供試体の圧縮強度より、終局耐力および許容耐力の計算結果である。終局耐力は、コンクリート標準示方書の方法を、許容耐力は、圧縮強度結果よりせん断許容応力度を供試体B～Fは 3.0kgf/cm^2 、そのほかは 2.5kgf/cm^2 で計算した。

- ① 実験した耐力レベルは、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60～70%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、少なくとも最大荷重時には許容耐力にはほぼ達していた。
- ② 供試体Hのせん断破壊荷重は、終局耐力の84%で生じたが、許容耐力では約1.7倍で発生しており、継手位置は段落とし規定（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。

表5. 13 せん断耐力

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	0.729	1.153	1.384

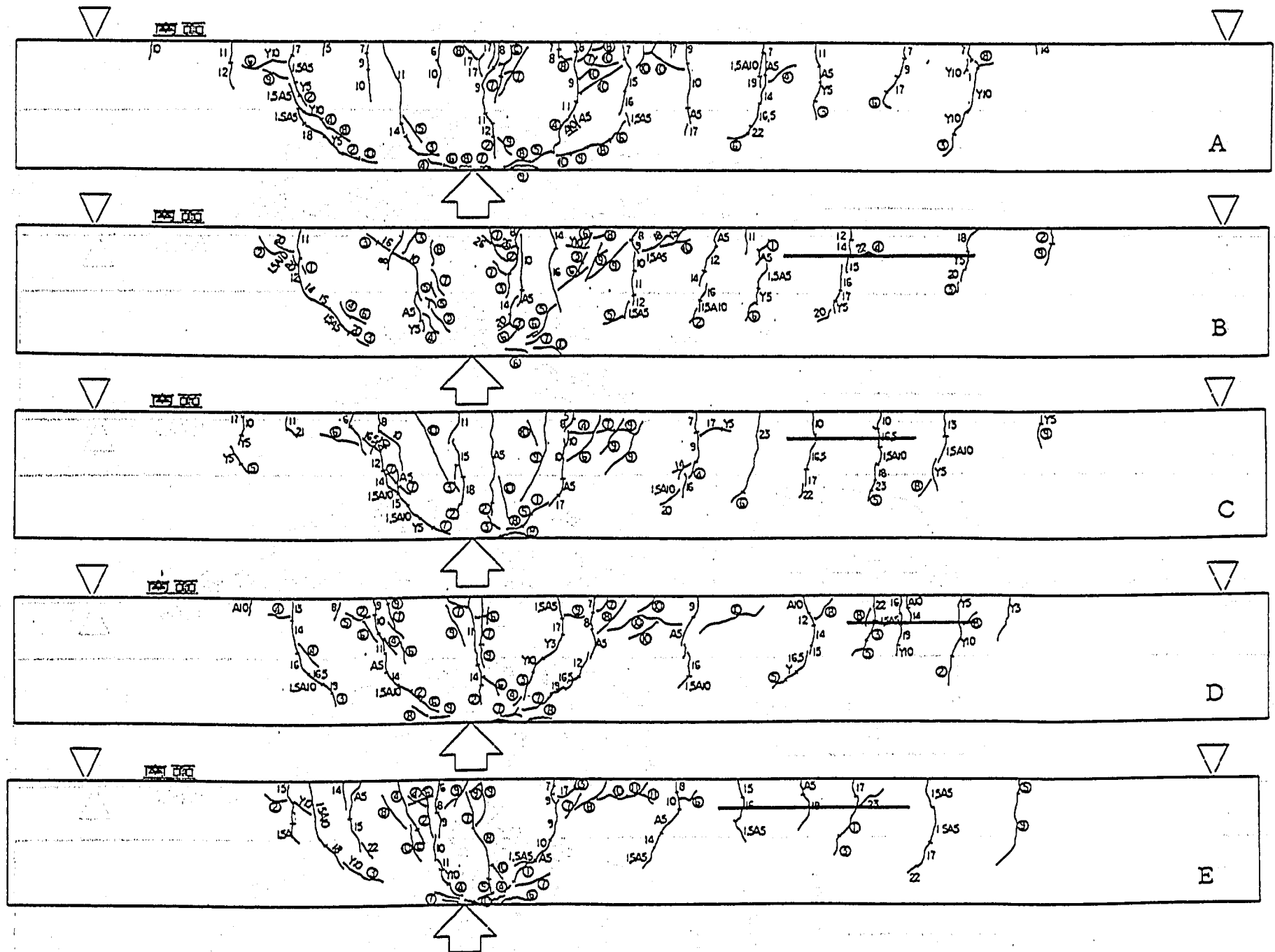


図-5.20 ひびわれ・破壊状況(その1)

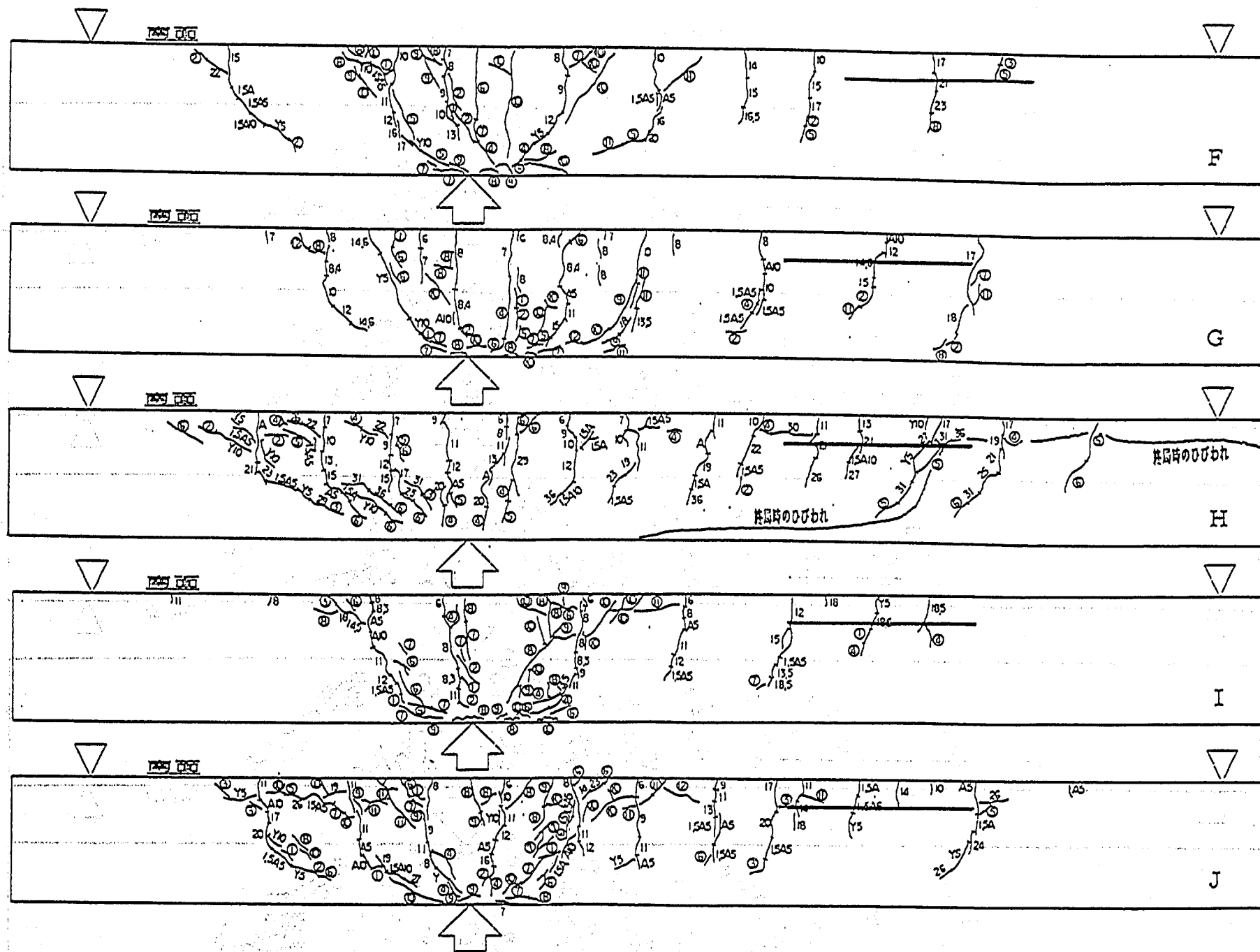


図-5.20 ひびわれ・破壊状況(その2)

(3) たわみ

荷重-たわみ履歴曲線を図-5. 21に示す。

繰返しの影響を見るため鉄筋の許容応力度、許容応力度の5割増しおよび公称降伏点について、初回、10回繰返し後および繰返しによる増加量を図-5. 22に示す。

- ① 図-5. 21より、供試体H以外はすべて大きな曲げ変形を示しており、耐力、変形性に問題はない。
- ② 図-5. 22より、許容、許容の5割増し、降伏時とも計算値に近い値となっており、しかも繰返しの影響も供試体の違いに関係なく、継手を設けていない供試体Aとほぼ同じく繰返しによるたわみの増加量は計算値の10%程度であり、この程度の繰返し荷重であれば問題ない。

(4) 鉄筋のひずみ

図-5. 23にたわみと鉄筋のひずみの関係を示す。図中には、最大荷重時（継手位置は弾性範囲内）の継手端部のひずみの計算値も示した。

- ① 継手先端のひずみは、ほぼ計算どおりであった。
継手末端は、ひびわれ発生位置とゲージ貼付位置のずれにによって異なり、計算値よりかなり下回る場合が多い。
- ② せん断破壊した供試体Hについても先端ひずみは計算値とほぼ一致しているのに対し、末端ひずみは計算値よりかなり大きく、曲げモーメントを $1/2$ dシフトさせた場合とほぼ一致しており、継手末端からのせん断（段落とし）破壊と推定され、継手の破壊とは直接関係ないと考えられる。

(5) ひびわれ幅

ひびわれ幅の関係を図-5. 24に示す。繰返しの影響を検討するため、鉄筋の許容応力度、許容応力度の5割増しおよび公称降伏点について、初回、10回繰返し後および繰返しによる増加量で表した。

- ① 供試体J以外の供試体のひびわれ幅は、計算値程度であった。繰返しの影響も、増加量が計算値の10~20%程度であり、供試体A（継手なし）とほぼ同じとなっており、問題ないと考えられる。
- ② 供試体J（太い鉄筋D25、鉄筋間隔大きい）は、計算値よりやや大きくなっており、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われ幅の増加にともなう耐久性に注意を要する。

(6) 割裂強度

最大荷重時の継手先端の鉄筋のひずみから求めた引張力（図-5. 23）と、オランガン式（5章（5.3）式）から求めた付着強度および継手耐力を（5.1）および（5.2）式から求め、それらの関係を表5. 14に示す。

- ① 鉄筋量の多い供試体H、J以外は、継手耐力に対して50~80%の引張力であった。この程度であれば、全数継手耐力の問題はない。
- ② 供試体H、Jは、引張力と継手耐力がほぼ同じであり、継手先端付近では割裂の影響と

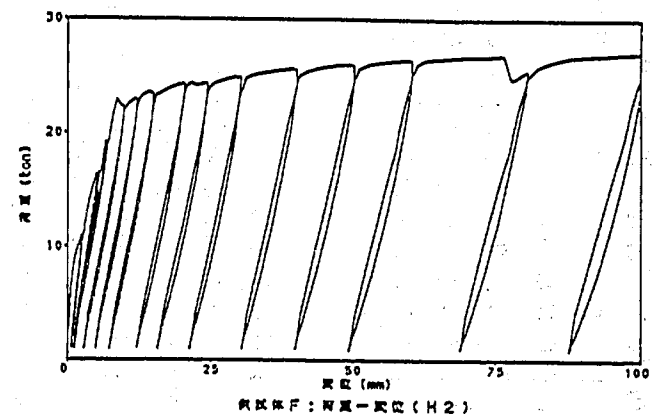
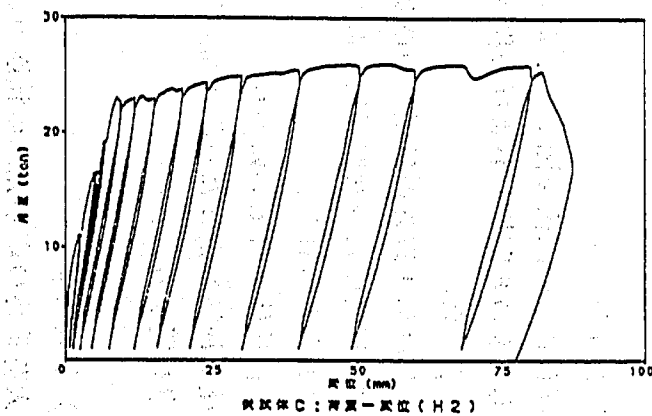
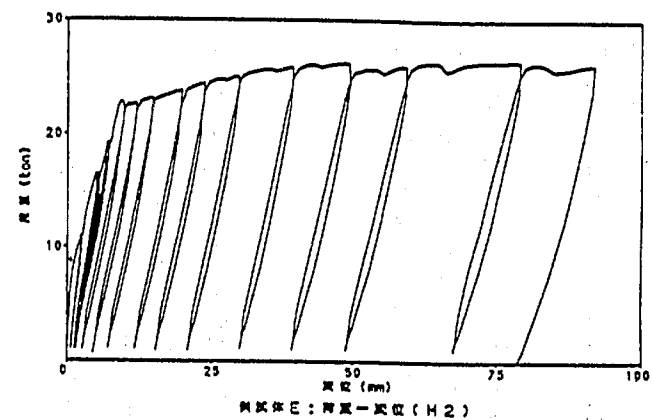
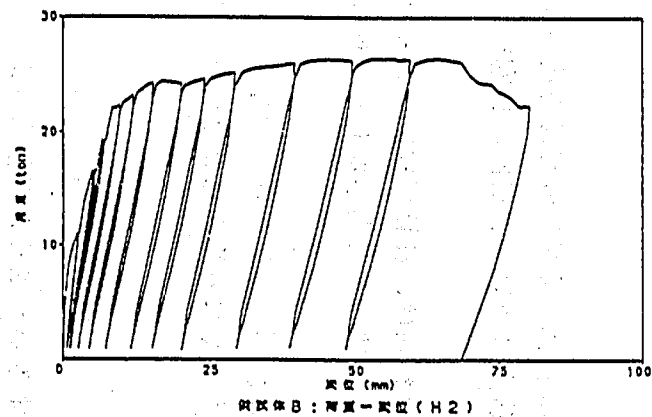
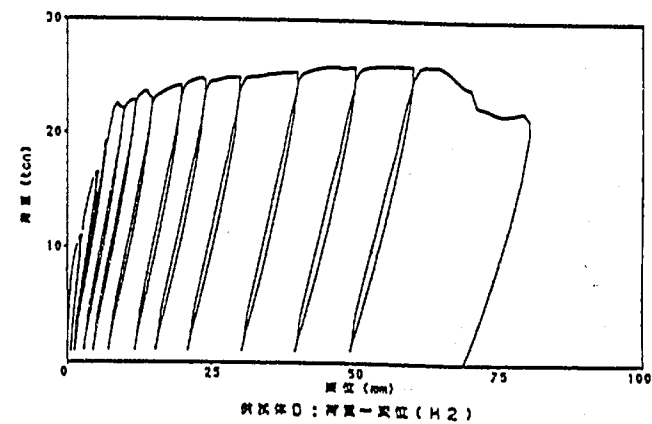
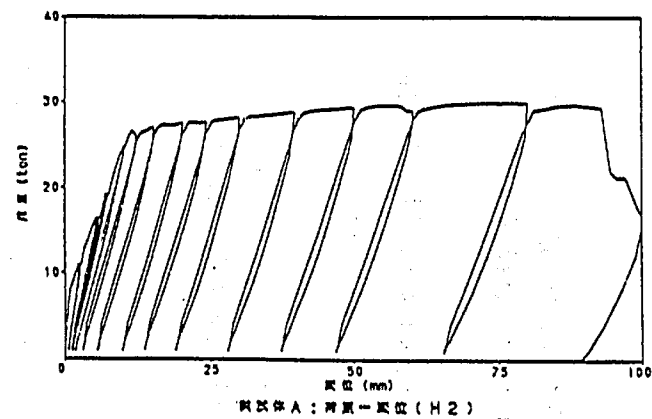
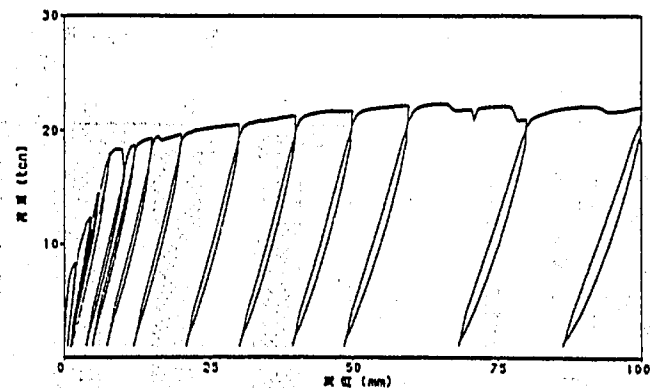
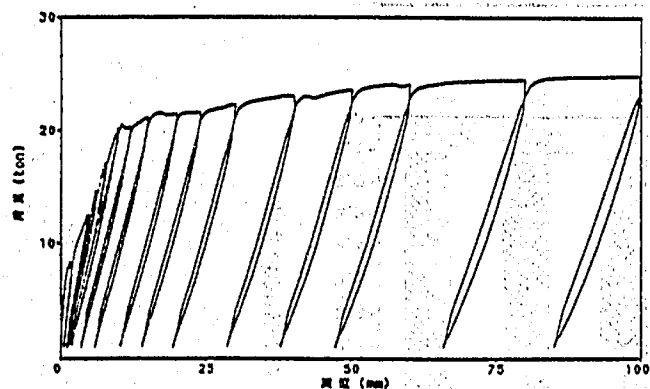


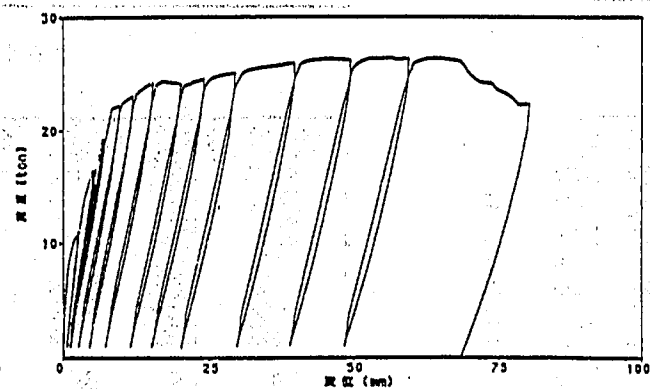
図-5.21 荷重-たわみ履歴曲線 (その1)



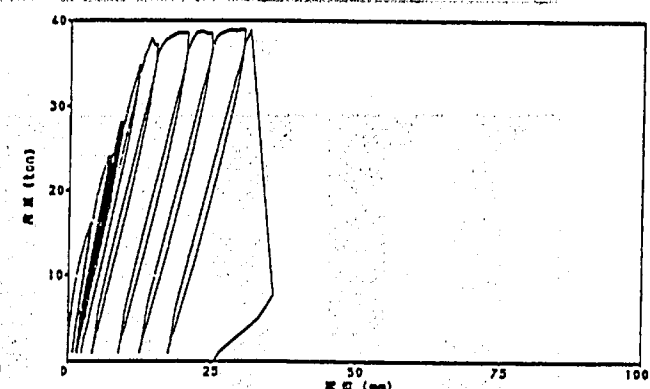
試体 I : 荷重-たわみ (H2)



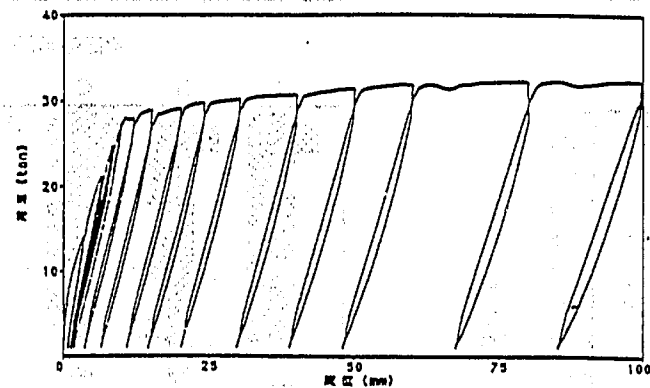
試体 G : 荷重-たわみ (H2)



試体 B : 荷重-たわみ (H2)

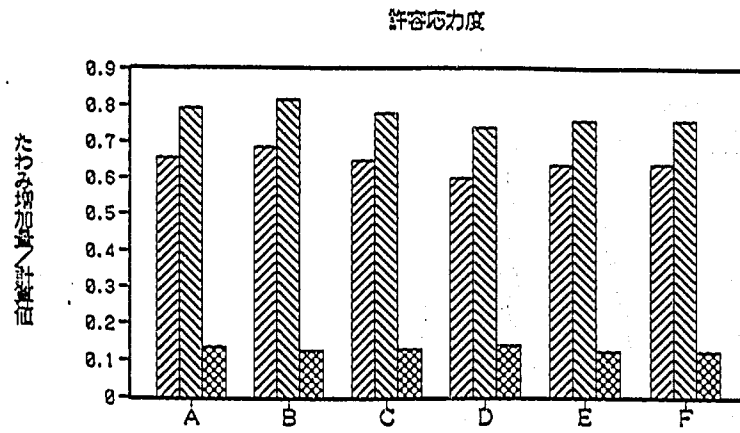


試体 H : 荷重-たわみ (H2)

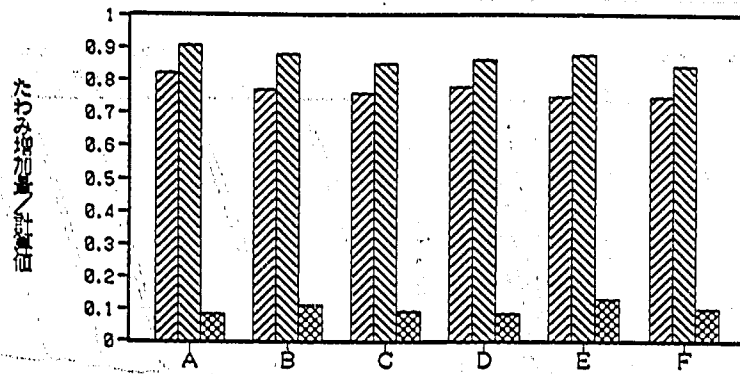


試体 J : 荷重-たわみ (H2)

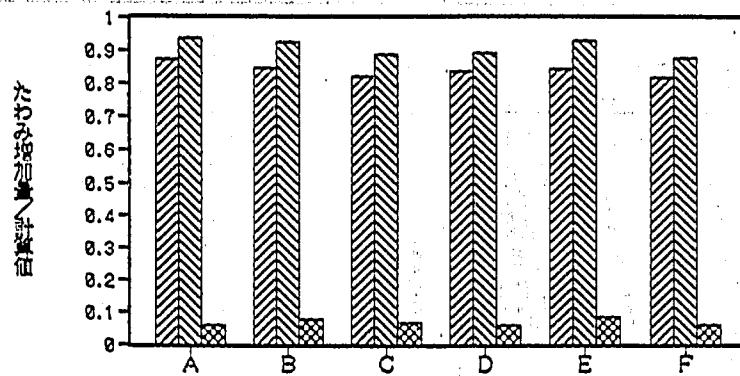
図-5.21 荷重-たわみ履歴曲線 (その2)



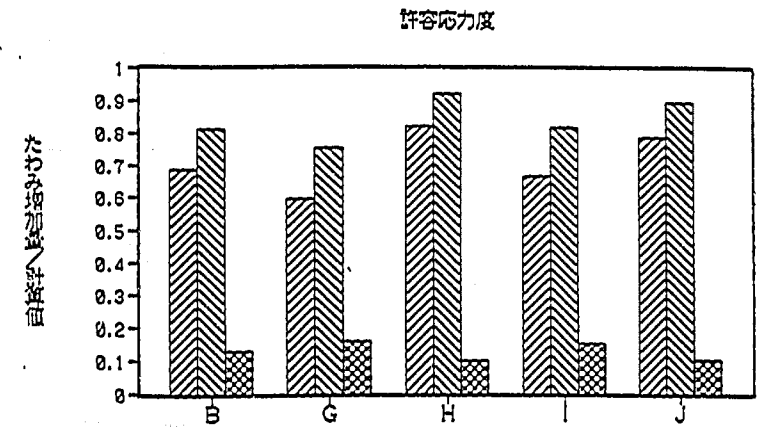
許容応力度の5割増



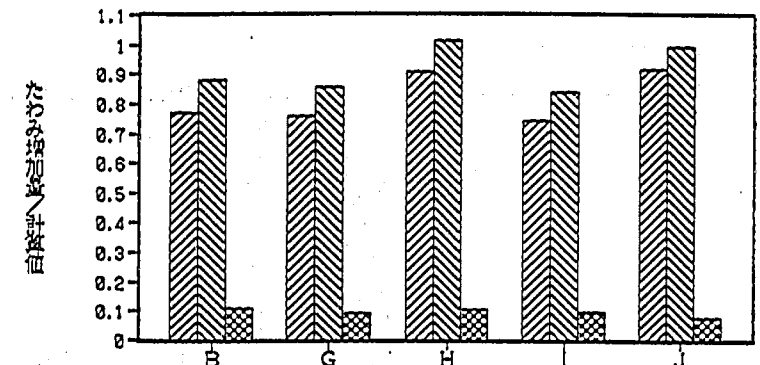
降伏点



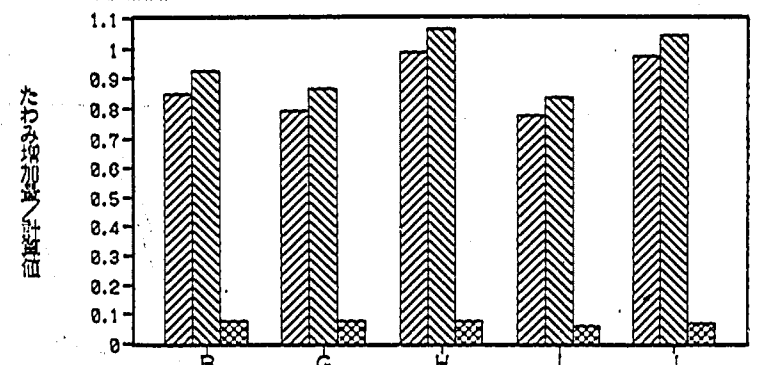
供試体
 100目 1000目 (1000-100)



許容応力度の5割増



降伏点



供試体
 100目 1000目 (1000-100)

図-5.22 たわみ(繰り返しの影響)

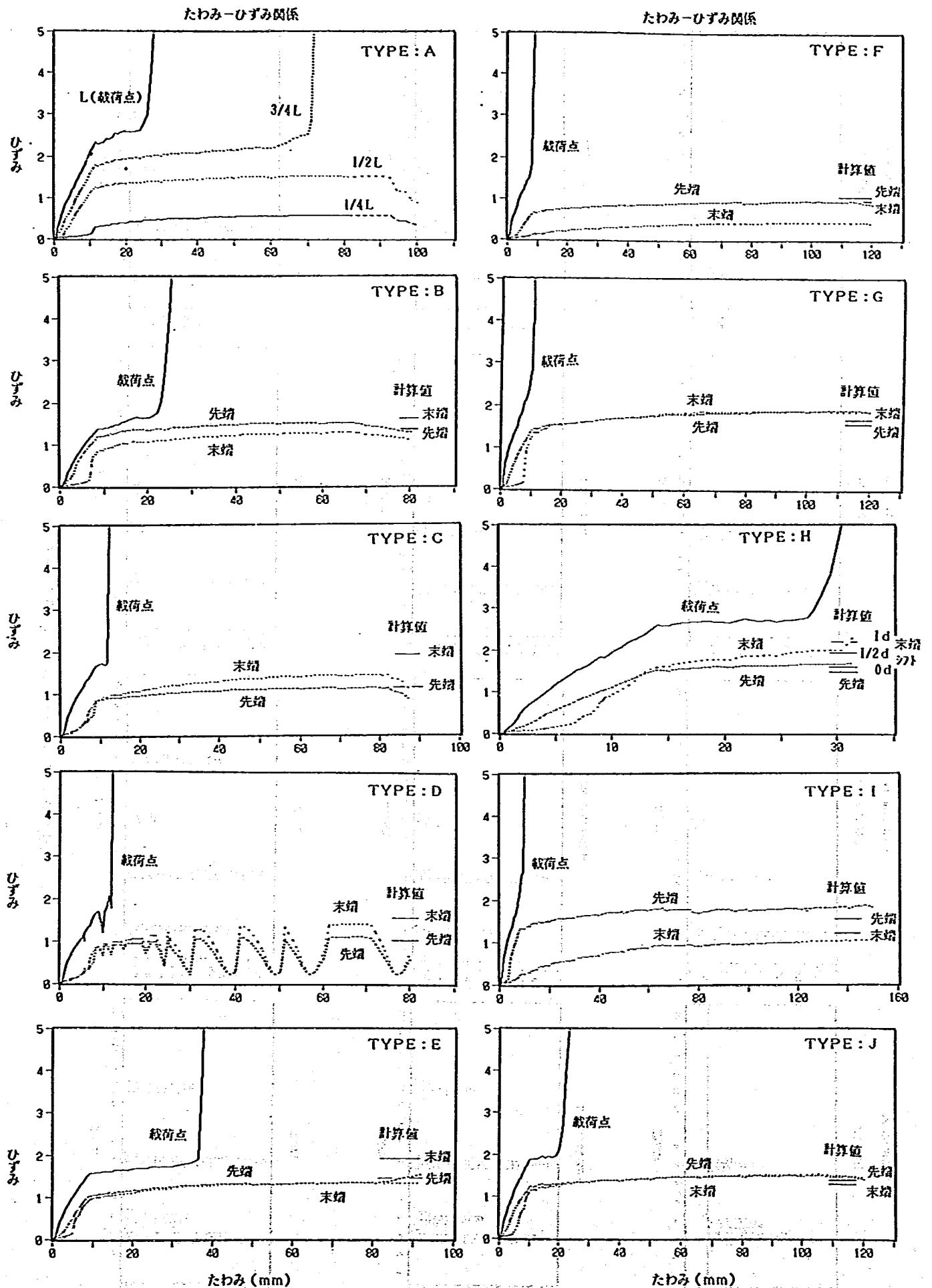


図-5.2.3 たわみ-ひずみ関係

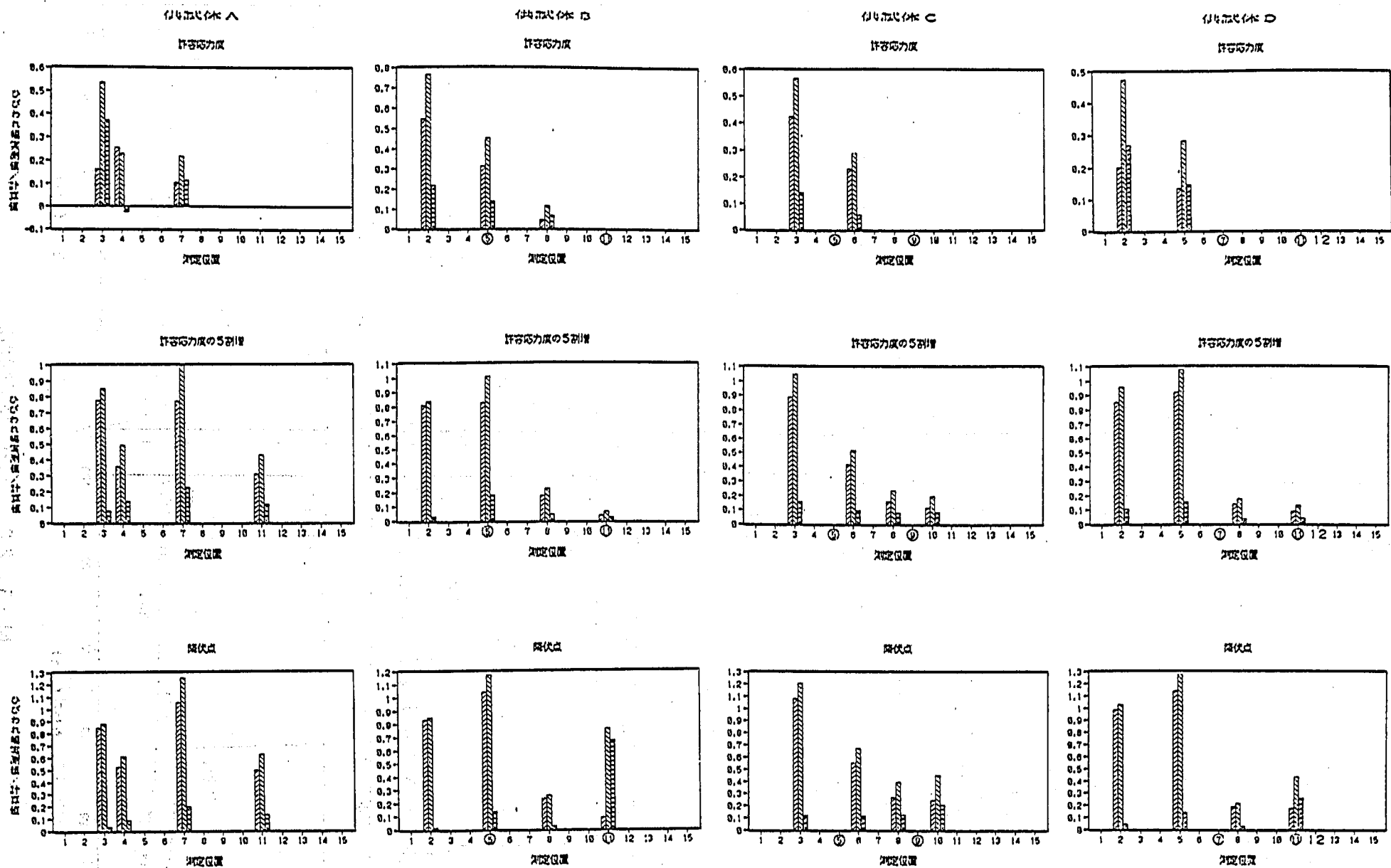


図-5.24 ひびわれ幅(その1)

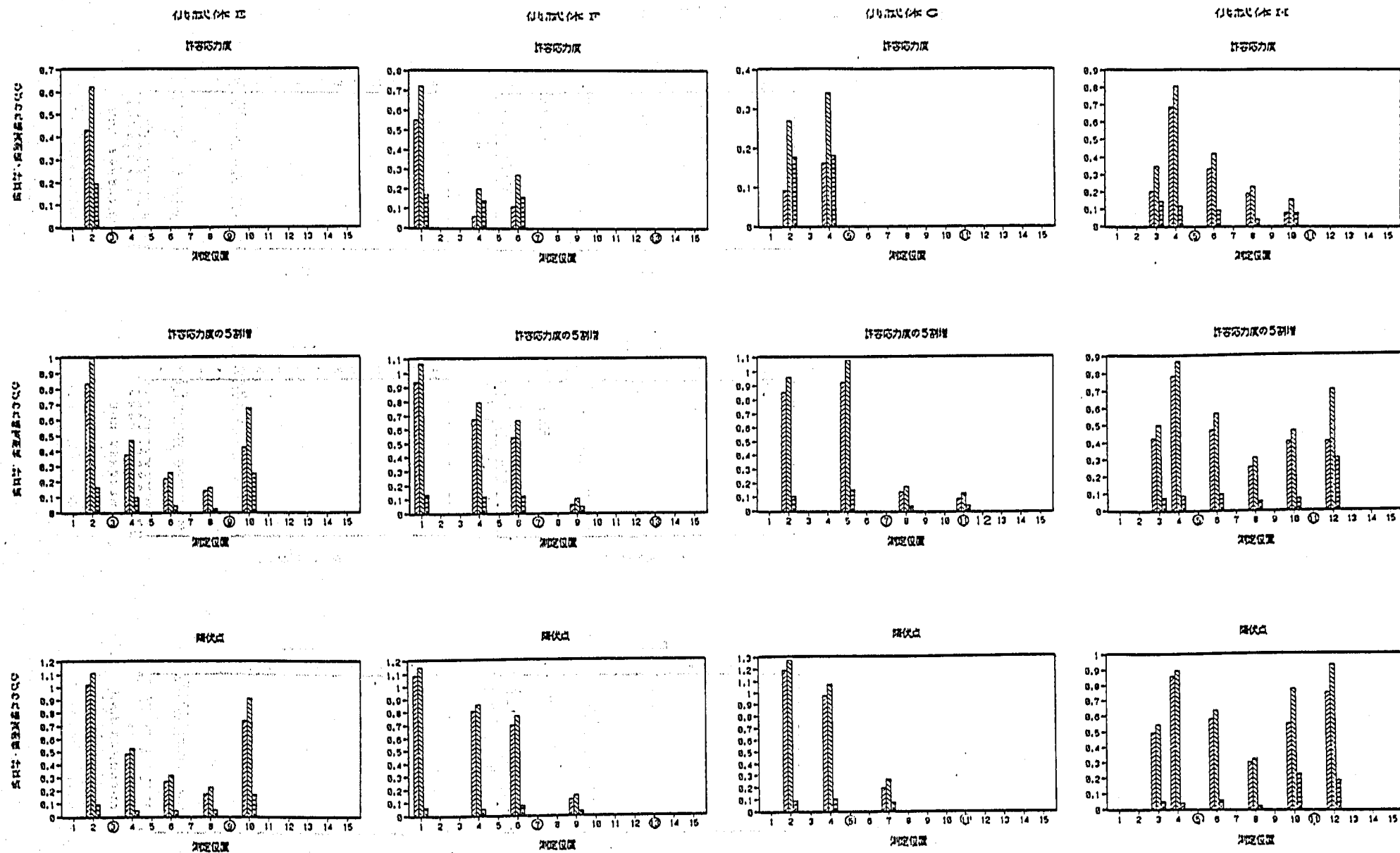


図-5.24 ひびわれ幅 (その2)

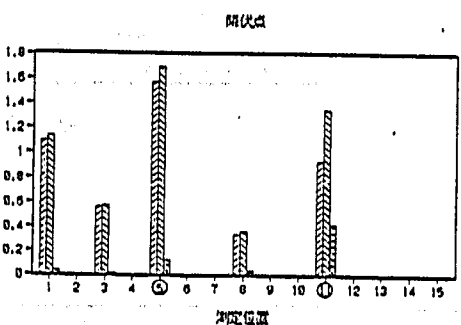
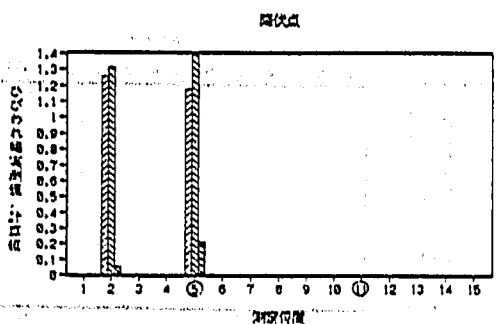
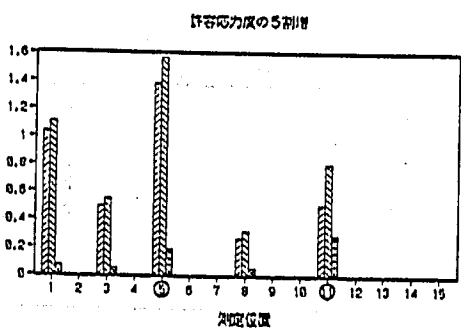
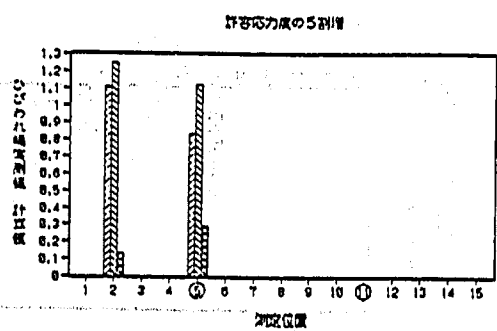
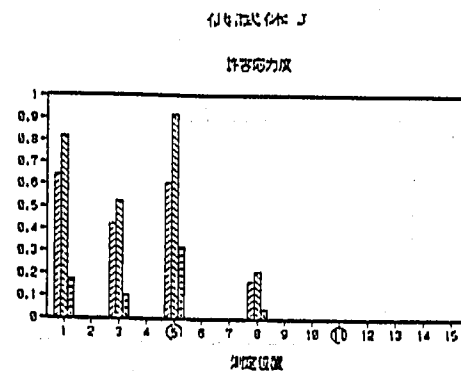
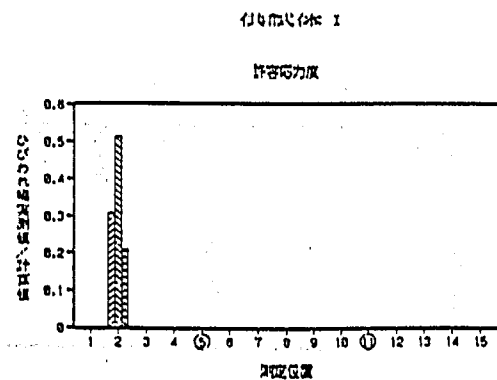


図-5.24 ひびわれ幅(その3)

考えられる短いひびわれが確認されており、オランガン式による付着強度の算定はほぼ妥当と考えられる。

表 5. 1 4 割裂強度

供試体	計 算 値		鉄 筋	耐 力 比
	付着強度 kgf/cm ²	継手耐力 t f	引張力 t f	引 張 力 継手耐力
A	—	—	—	—
B	47.0	16.9	10.3	0.611
C	51.2	12.3	9.7	0.789
D	51.2	12.3	8.6	0.703
E	47.0	16.9	11.4	0.671
F	47.0	16.9	8.6	0.508
G	44.2	15.9	11.9	0.748
H	28.7	10.3	11.2	1.080
I	43.1	15.5	8.8	0.567
J	38.9	14.0	14.2	1.012

5. 3. 3 まとめ

全数継手の設計案（表 5. 7）がどの程度安全性を有しているかを確認するため、曲げおよびせん断力が作用する場合に継手位置および継手長を変化させた全数継手の載荷実験を行った。

その結果、継手位置は段落しの規定にしたがい曲げモーメントの小さい位置に設けること、継手長を割り増すことなどの対策を施すことにより、全数継手を採用しても力学的特性はもちろん耐久性も満足できるものと考えられる。しかしながら、鉄筋量（鉄筋比）が多く鉄筋間隔が小さい場合や、鉄筋が太く鉄筋間隔が大きい場合、せん断・割裂破壊やひびわれ幅に対して配慮する必要があるものと考えられる。

そのため、設計案には鉄筋量やせん断に対する規定をもちこむ必要がある。

5. 4 まとめ

全数継手の継手強度および曲げせん断力が作用する場合の実験結果より、全数継手を適用するにあたっては、以下のことを考慮することにより使用可能と考えられる。

- ① 使用構造物または部材を限定すること。
- ② 継手位置をできるだけ曲げモーメントの小さい位置とすること。
- ③ 継手方法を異種径の継手とするとともに、継手長を長くすること。

以上の結果より表5. 7の設計案ではほぼ妥当と考えられるが、以下の点で注意を要する必要があることがわかった。

- ① 太い鉄筋を使用し、鉄筋間隔を大きくすると継手強度は問題ないが、ひびわれ幅が大きくなること。
- ② 鉄筋量（鉄筋比）が多い場合、せん断破壊に対する注意が必要である。
- ③ 継手末端では鉄筋量が急変するため、段落し破壊を生じやすくなる。

これらのことを考慮し、設計案の適用範囲にせん断に関する規定を盛り込んだ設計方法案の修正案を表5. 15のように提案する。詳細については、巻末資料の「全数継手設計方法（案）」を参照されたい。

表5. 15 全数継手設計方法（案）（修正案）

1. 適用範囲：標準設計（案）のユニット鉄筋

繰返し荷重の少ない部材

曲げ破壊する部材（継手位置がせん断で決まる部材には適用しない）

2. 継手方法：異種径の継手

3. 継手位置：段落とし規定を満足する

a. 鉄筋の引張応力度が許容応力度の $1/2$ 以下

b. 平均せん断応力度が許容せん断応力度の $2/3$ 以下

4. 継手長：基本定着長の1.3倍

注）下線が追加（修正）事項。

6. 点溶接鉄筋の強度実験

6. 1 実験目的

鉄筋の組立てはほとんど結束線により行われている。溶接による結束は、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、さびに問題があることから、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なる。

これまで、溶接した鉄筋の強度は、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いない場合の50%程度も低下することがわかっている^{8, 1)}。しかし、組み立てた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。そこで、溶接鉄筋の静的引張試験と溶接部自体の強度試験を2ヶ年にわたって行った。

6. 2 実験概要

6. 2. 1 使用材料

使用した鉄筋は、JIS A 3112に適合したものであり、91年度はSD345のD25, 19, 16, 13を、92年度はSD295のD25, 22, 19, 16, 13である。母材の引張試験結果は、表6. 1のとおりである。点溶接は、JIS Z 3211のテーク溶接により、各径の鉄筋に配力筋に相当する鉄筋D13を1点溶接した(図-6. 1)。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。

表6. 1 鉄筋の静的引張強度試験結果

	鉄筋種類		降伏点 kgf/mm ²	引張強さ kgf/mm ²	伸び %	絞り %
91 年 度	D10	SD295	36.1	51.9	28.1	52.6
	D13	SD345	38.2	58.1	23.0	57.2
	D16	SD345	40.2	62.3	21.4	49.1
	D19	SD345	40.6	56.9	24.9	59.3
	D25	SD345	40.2	56.9	30.9	59.3
92 年 度	D10	SD295	40.7	60.8	26.2	51.9
	D13	SD295	37.4	53.9	29.2	64.5
	D16	SD295	38.1	55.2	28.4	61.2
	D19	SD295	39.7	59.1	25.7	53.1
	D22	SD295	37.7	58.1	26.1	57.6
	D25	SD295	39.6	60.3	32.7	52.2

6. 2. 2 実験方法

強度試験は静的引張試験と、施工時に作用することが想定される3タイプ（図-6. 1）について溶接部の強度試験を行った。Aタイプは、せん断強度試験であり、A1、A2タイプの違いは溶接部分が引張方向に対して上、下の位置関係の違いによる。Bタイプは、もち網状のユニット鉄筋に施工時に人が載るなどの荷重が作用することを想定した引き裂き強度試験である。

91年度は、図-6. 1の3タイプと、比較のために直径0.6mmのなまし鉄線を2本折りにしてたすきがけに結束したものについてA、Bタイプのせん断試験を行った。静的引張試験を行った本数は、母材は3本、溶接鉄筋は5本、溶接部自体の強度試験は、Aタイプは3本ずつ、Bタイプは4本である。結束線によるものはA、Bタイプとも5本である。

92年度は、静的引張試験およびA2タイプについて3本ずつである。

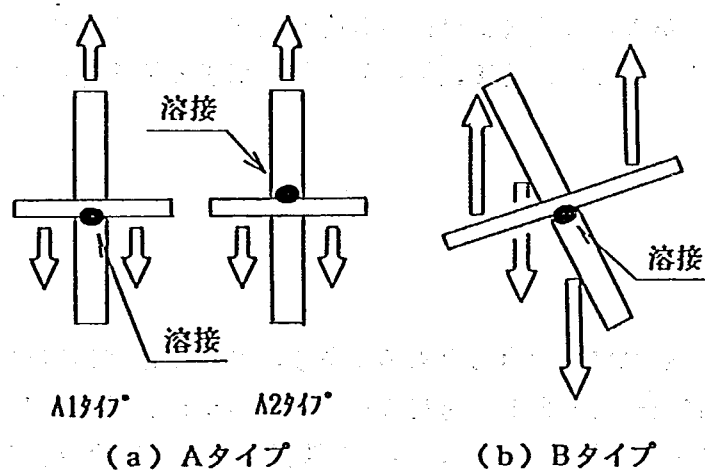


図-6. 1 溶接部の強度試験方法

6. 3 実験結果

6. 3. 1 静的引張強度試験

引張試験結果の平均値を表6. 2に示す。91年度のD13、D16の溶接鉄筋の1本ずつと、92年度のD16、22、25の1本ずつが溶接部で破断したが、そのほかは溶接部以外で破断した。いずれで破断したものについても強度的にはほとんど問題ないが、溶接部で破断したものは伸びが小さくなった。

年度	鉄筋径 (mm)	試験本数	破断位置	破断位置	破断位置
91年度	D13	5	溶接部	溶接部	溶接部
91年度	D16	5	溶接部	溶接部	溶接部
92年度	D16	5	溶接部	溶接部	溶接部
92年度	D22	5	溶接部	溶接部	溶接部
92年度	D25	5	溶接部	溶接部	溶接部

表6. 2 点溶接鉄筋の引張強度試験結果

	鉄筋種類		本数	降 伏 点		引張強さ		伸 び	
				kgf/mm ²	母材比	kgf/mm ²	母材比	%	母材比
91年度	D13	母材	3	38.2		58.1		23.0	
		溶接	4	38.0	0.995	57.8	0.995	21.6	0.94
		あり	*1	38.0	0.995	57.7	0.993	16.2	0.70
	D16	母材	3	40.2		62.3		21.4	
		溶接	4	40.2	1.000	61.7	0.990	20.8	0.97
		あり	*1	40.1	0.998	61.4	0.986	13.2	0.62
	D19	母材	3	40.6		56.9		24.9	
		溶接	5	40.6	1.000	56.8	0.998	23.7	0.95
	D25	母材	3	40.2		56.9		30.9	
		溶接	5	40.0	0.995	56.7	0.996	31.7	1.03
92年度	D16	母材	3	38.1		55.2		28.4	
		溶接	2	37.5	0.984	55.0	0.996	26.9	0.95
		あり	*1	38.6	1.013	55.2	1.000	17.0	0.60
	D19	母材	3	39.7		59.1		25.7	
		溶接	3	40.8	1.028	60.2	1.019	24.1	0.94
	D22	母材	3	37.7		58.1		26.1	
		溶接	2	39.6	1.050	58.8	1.012	22.9	0.88
		あり	*1	39.6	1.050	58.6	0.997	19.0	0.73
	D25	母材	3	39.6		60.3		32.7	
		溶接	2	39.9	1.008	60.1	0.997	23.6	0.72
		あり	*1	40.1	1.013	60.5	1.003	26.8	0.82

* : 溶接部で破断、それ以外はすべて母材部で破断

6. 3. 2 溶接部自体の強度試験

表6. 3 にせん断試験時の引張荷重（せん断力）の最大、最小および平均値を示すように、溶接部のせん断耐力はばらつきが大きいものの、結束線程度の耐力は容易に得られることがわかる。

91年度の試験結果より、破断面の面積と引張荷重の関係を図-6. 2 に示す。破断面積は、破断面をだ円と仮定し、長軸と短軸を測定して求めた。A2タイプは純粋な引張に近い荷重作用になるため、ほぼ比例関係にある。他の2タイプは、図-6. 3 のように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、図-6. 3 のように溶接部の終局時のモーメントの計算値 M_{cal} と、作用モーメント M （引張荷重と荷重作用位置から破断位置までの距離（ここでは鉄筋径の $1/2$ 一定とした）と引張荷重の積）の比と破断面の断面二次モーメントの関係を以下のとおり求めた。

表 6. 3 溶接部のせん断強度試験結果

結束 種類	鉄筋	強度試験 タイプ	9 1 年度			9 2 年度		
			最大荷重 kgf	最小荷重 kgf	平均 値 kgf	最大荷重 kgf	最小荷重 kgf	平均 値 kgf
溶 接	D 1 3	A 1	412	123	281			
		A 2	1310	548	848			
		B	417	225	312			
	D 1 6	A 1	299	113	177			
		A 2	835	501	718	1400	1540	1463
		B	184	55	123			
	D 1 9	A 1	219	115	183			
		A 2	1000	326	619	220	1300	710
		B	450	133	215			
	D 2 2	A 2				2530	2680	2593
	D 2 5	A 1	188	120	158			
		A 2	1178	185	622	510	980	727
		B	735	130	329			
結 束 線	D 1 9	A	213	131	168			
		B	158	138	145			

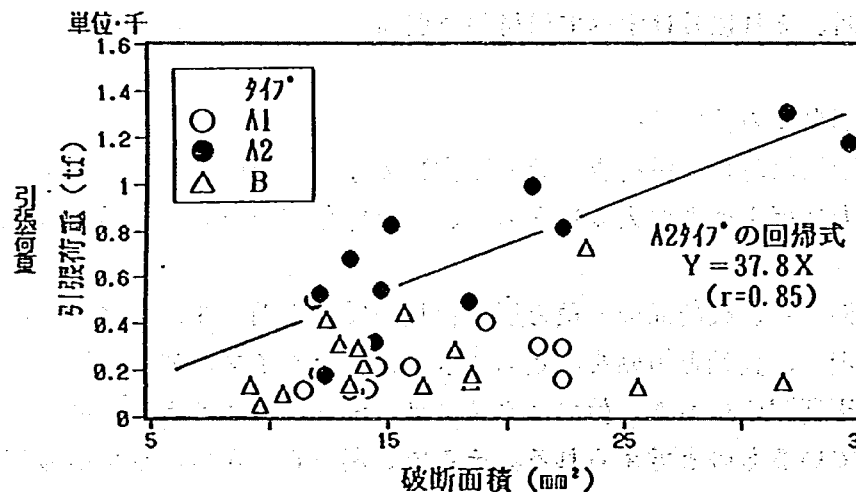


図- 6. 2 破断面積と引張荷重の関係

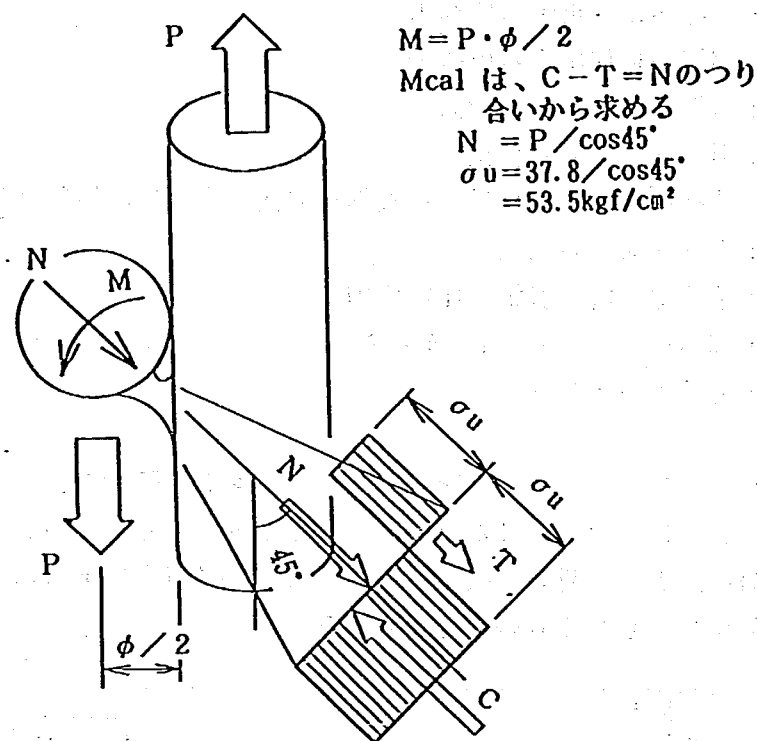


図-6. 3 せん断試験時の荷重作用状態 (A1タイプの場合) と
溶接部の応力分布の仮定

計算は同じ断面積の長方形におきかえて行った。

図-6. 3 のつり合い関係から、

$$C - N = T \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{P}{\sin 45^\circ} \\ C &= k a b \sigma_u \\ T &= (1 - k) a b \sigma_u \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.2)$$

(6.1)式に(6.2)式を代入すると

$$k a b \sigma_u - (1 - k) a b \sigma_u = N \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

(6.3)式より、 k は、

$$k = \frac{1}{2} \left[\frac{N}{a b \sigma_u} + 1 \right] \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

モーメントは(6.5)式で求められる。

$$M_{cal} = \frac{1}{2} k^2 a b^2 \sigma_u + \frac{1}{2} (1 - k)^2 a b \sigma_u + \left(k - \frac{1}{2} \right) k N \quad \dots\dots\dots (6.5)$$

ここに、C : 溶接部に作用する圧縮力
 T : 溶接部に作用する引張力
 N : 溶接部に作用する軸力
 P : 引張（せん断）荷重
 a、b : 溶接部破断面の長軸（荷重作用方向に直角）、短軸（荷重作用方向）
 b_k : 中立軸までの距離
 σ_u : 溶接部の終局引張、圧縮応力度
 M : 作用モーメント = $P \cdot \phi / 2$
 Mcal : 抵抗モーメント

曲げモーメント比（= $M / Mcal$ ）と断面二次モーメントの関係を図-6. 4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、ほぼ一定の関係となっており、溶接部分の断面積が断面二次モーメントで 20 mm^4 以上であれば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。

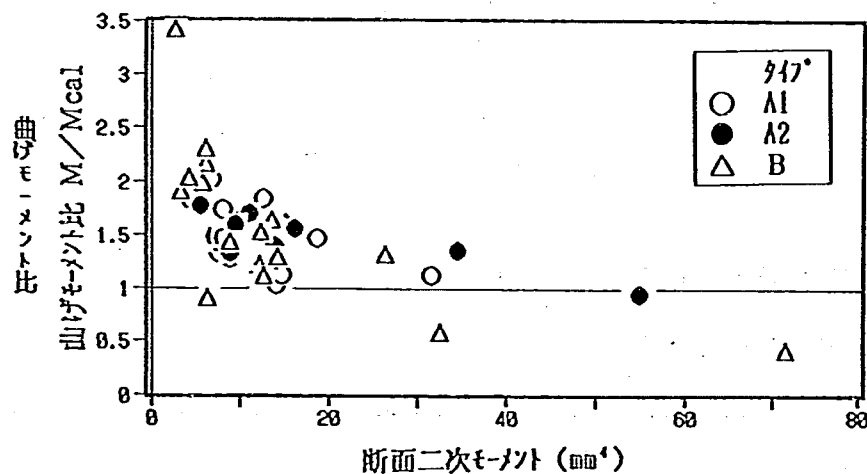


図-6. 4 断面二次モーメントと曲げモーメント比の関係

92年度の試験結果についても91年度と同じように破断面積と引張荷重の関係および断面二次モーメントと曲げモーメント比の関係を求めると、図-6. 5および6. 6のようであった。図中には91年度のA2タイプの結果も示した。図-6. 5の回帰式をY切片をゼロとして求めると以下のとおりであった。

$$91\text{年度 } Y = 37.8 X \quad (r = 0.85)$$

$$92\text{年度 } Y = 39.0 X \quad (r = 0.95)$$

$$91、92 \quad Y = 38.7 X \quad (r = 0.95)$$

図-6. 5および6. 6のように91、92年の試験ともほぼ一致している。また、回帰から求めた係数は引張強度に相当し、図-6. 3のように45度の傾きで作用していると仮定すると引張強度は 56 kgf/mm^2 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。これらのことより、溶接部にせん断力が作用した場合、図-6. 3のようなつりあい関係から溶接部の強度を評価することはほぼ妥当と考えられる。

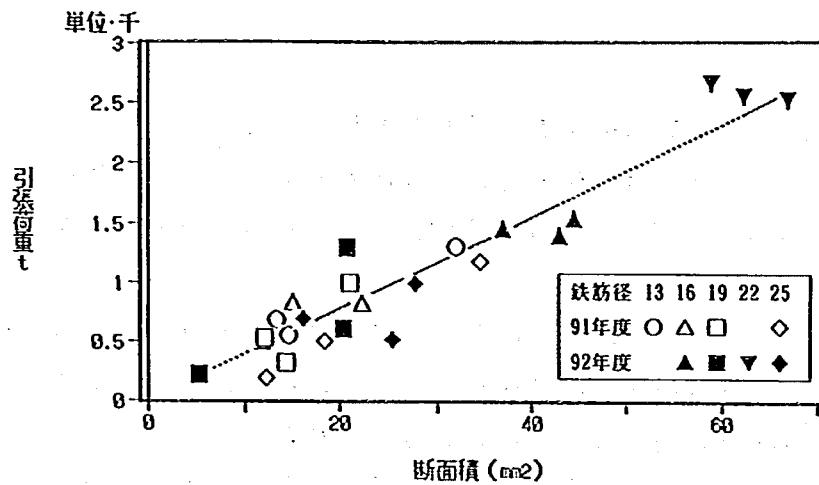


図-6.5 破断面積と引張荷重の関係 (91および92年度の結果)

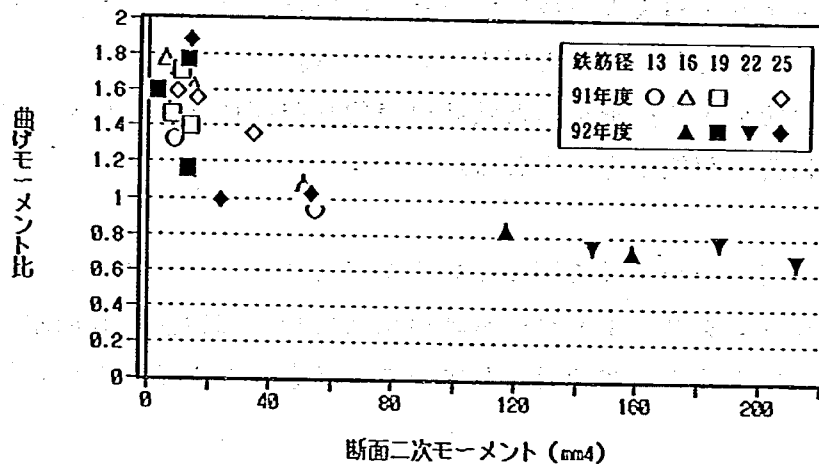


図-6.6 断面二次モーメントと曲げモーメント比の関係 (91および92年度の結果)

6.4 まとめ

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が破断しても降伏点、引張強さとも母材の強度と遜色なく、強度的には問題ない。しかしながら、伸びは小さくなる。
- ② 溶接部自体の耐力は、通常の結束線程度以上は容易に得られる。
- ③ 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。
- ④ ③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。

【参考文献】

- 6.1) 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

7. あとがき

これまで3年間の検討結果を列挙すると以下のとおりである。

- ① 現場打コンクリート工事の合理化・省力化のための検討課題（合理化策）を明らかにした。課題は、a.コンクリートの打込み・締固め、b.鉄筋の加工・組立て、c.部材断面の標準化、単純化である。
- ② それらの合理化策について施工会社に対してアンケート調査を実施した結果、期待が大きく効果も大きそうな項目が明らかになった。また、合理化策を実施するためにはわかりやすい指針や施工基準を必要としていることも示された。
- ③ 具体的な施工基準作成のための実験として、鉄筋の全数継手の載荷実験および点溶接の強度実験を行い、以下のような結論を得た。

全数継手：全数継手の設計方法（案）を提案した。設計案の内容は、適用部材を限定し、曲げモーメントが大きい位置での継手を避け、継手方法も異種径の継手を採用して継手長を割り増すというものである。

点溶接：アーク溶接による点溶接した鉄筋の静的な強度には問題なく、疲労部材などを除けば使用可能と考えられる。

今後は、点溶接の施工基準の整備を図っていく予定である。コンクリートは打込み・締固めについては、流動化コンクリートや最近実績の増えている高性能A E減水剤を用いたコンクリート、締固め不要をめざして開発されている高流動コンクリートの基準化を図りたいと考えている。

さらに、これらの合理化策を現場に適用し、合理化の効果や問題点などを把握し、最終的には合理化に適したコンクリートの施工基準をめざし、検討を進めていきたいと考えている。

1. 適用範囲

①標準設計（案）のユニット鉄筋

②繰返し荷重の少ない部材

③曲げ破壊する部材（継手位置がせん断で決まる部材には適用しない）

2. 継手方法

異種径の重ね継手とする。

3. 継手位置

段落し規定を満足する。

a. 鉄筋の引張応力度が許容応力度の $1/2$ 程度b. 平均せん断応力度が許容せん断応力度の $2/3$ 程度

4. 継手長

太径鉄筋の基本定着長の1.3倍とする。

【根拠】

1. 適用範囲について

以下のような構造物に適用する。

①標準設計（案）を用いたユニット鉄筋の構造物

鉄筋コンクリート工事の施工の合理化をめざしており、鉄筋の加工・組立てについては現場での作業を極力少なくするため、鉄筋をあらかじめ工場などである単位で組み立てておき（ユニット鉄筋）、それを現場に設置する方法の場合に適用する。

標準設計（案）では、鉄筋の標準的な配置などを決めてユニット化している。

②繰返し荷重の少ない部材

重ね継手は、鉄筋の引張力をコンクリートのせん断力を介して応力が伝達される継手であり、大きな荷重が繰返し作用すると継手部のコンクリートがしだいに割裂破壊するため、このような制限を設けた。

ここで、繰返しが少ない部材とは、床版のような疲労部材や、橋脚のように地震力による大変形の正負繰返しが作用する部材を除く。

③曲げ破壊する部材

継手部は、鉄筋の断落し位置に重ね継手があることになり、非常にせん断破壊に弱いためもうけた制限である。

2. 継手方法について

図-1(b)のような継手をここでは異種径の継手と呼んでいる。

通常、曲げモーメントが小さくなり、必要な鉄筋量（本数）が $1/2$ 以下になれば鉄筋本数を $1/2$ にし、1本とびの配筋になる。しかし、これでは鉄筋間隔が大きく

なるためひびわれ幅も大きくなり耐久性などから好ましくないこと、全数継手のようにきびしい継手の付着強度を少しでも改善し、ひびわれを分散するために細い鉄筋を分散して配置する方法を採用した。

3. 継手位置について

1. ③の理由からせん断破壊を防ぐためこの条件をもうけた（図－2）。

4. 継手長について

コンクリート標準示方書では、継手の鉄筋に対する割合と、鉄筋の断面積の関係から継手長を表－1のように決めている。また、以下に示すように、今回実施した全数継手の載荷実験結果から以下のような試算を行い、全数継手の継手長は、太径鉄筋から求められる基本定着長の1.3倍とした。

表－1 コンクリート標準示方書の継手長の規定

	継手の全鉄筋に対する割合	
	50%以下	50%を超える
$A_s / A_{sn} \geq 2$	L_d	$1.3 L_d$
$A_s / A_{sn} < 2$	$1.3 L_d$	$1.7 L_d$

ここに、 L_d ：基本定着長
 A_s ：鉄筋の実断面積
 A_{sn} ：鉄筋の必要断面積

〈継手長の試算〉

（1）計算仮定

実験結果および標準設計（案）より、試算仮定は以下のとおりとした。

① オランガン式による

・適用範囲 $c/d \leq 2.5$ であり、それ以上の場合は $c = 2.5d$ とした。

ここに、 c ：かぶりか、鉄筋のあきの1/2の小さい方

d ：鉄筋径

・幅広い構造物の場合、横補強筋の隅角部がなく、継手強度の増進効果はほとんどないことから、横補強筋の効果は無視する。

・適用範囲に示す構造物では、通常、引張主鉄筋は下端筋とはならないため、得られた割裂強度を1.3で除す。

② 設計用数値

通常、建設省で用いられている設計値を用いて以下のような計算をした。

・鉄筋 SD295、 $\sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_{sy} = 3000 \text{ kgf/cm}^2$

・鉄筋間隔 20cm、コンクリート表面から鉄筋中心までの距離10cm

・コンクリート強度 210 kgf/cm^2

③ 継手長

(1)式より求められる基本定着長の計算の1、1.3、1.7倍

$$L_a = \sigma_{sa} / 4 \tau_a \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 L_a ：基本定着長 (cm)

σ_{sa} ：鉄筋の許容引張強度 (kgf/cm²)

τ_a ：コンクリートの許容付着応力度 (kgf/cm²)

④ 鉄筋の組合わせ

太径 細径

D 1 6 - D 1 3

D 2 5 - D 1 9

D 3 5 - D 2 5

D 1 9 - D 1 6

D 2 9 - D 2 2

D 3 8 - D 2 9

D 2 2 - D 1 6

D 3 2 - D 2 5

(2) 計算結果

図-3 および 4 は、(2)式の示す継手耐力と鉄筋降伏点の比を示している。

$$\text{強度比} = \tau_{cal} U L / \sigma_{sy} A_s \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 τ_{cal} ：オランガン式から求められる割裂強度 (kgf/cm²)、 U ：鉄筋の周長 (cm)、 L ：継手長 (cm)、 σ_{sy} ：鉄筋の降伏点 (kgf/cm²)、 A_s ：鉄筋の断面積 (cm²)

強度比の2倍程度の安全を見込むとすれば、図-3、4より、太径の鉄筋からみれば1.3 L_a 、細径の場合は1.7 L_a となる。その場合の実際の継手長は、図-5のようになり、太径を基準とすることにより継手長は鉄筋径に比例するため、これを採用することとする。

(3) 全数継手の継手長

よって標準設計(案)のユニット鉄筋の全数継手は、異種径の継手とし、継手長は太径の場合の基本定着長の1.3倍とする。

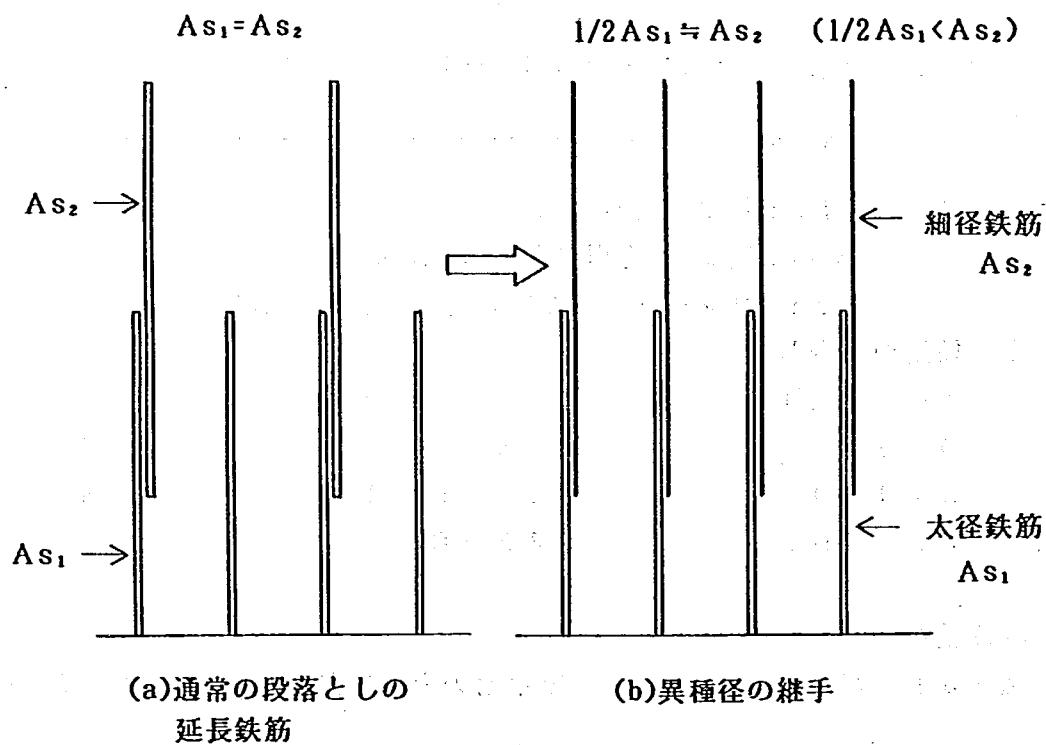
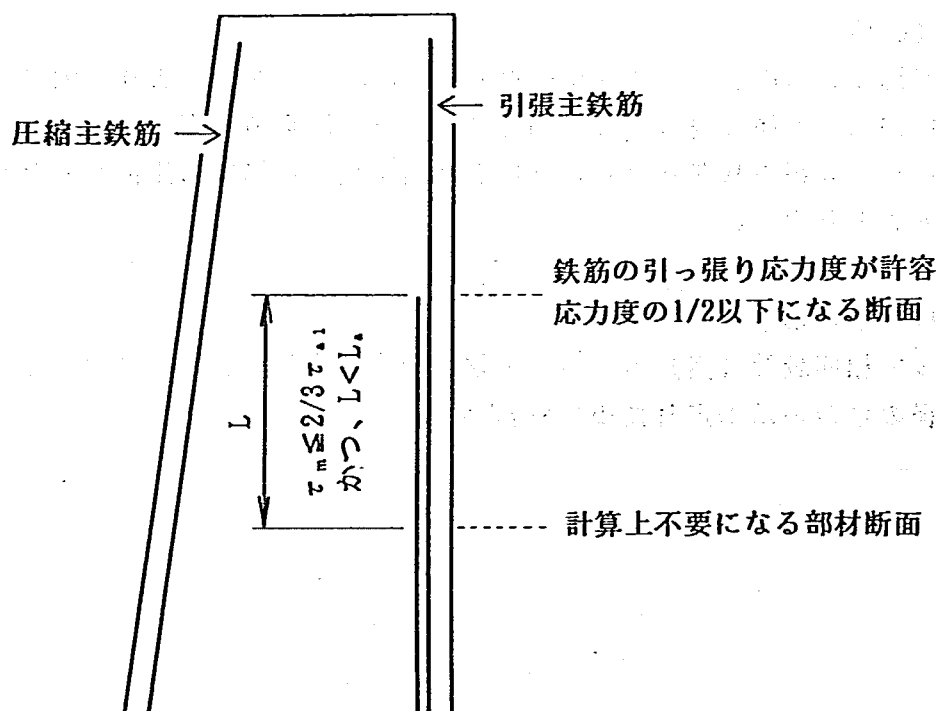


図-1 異種径の継手



- τ_m : 部材断面に生じるコンクリートの平均せん断応力度
- τ_{c1} : コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度
- L : 定着長
- L_d : 基本定着長

図-2 段落とし部の主鉄筋の定着長

図-3 太径鉄筋継手耐力／引張力（降伏点）

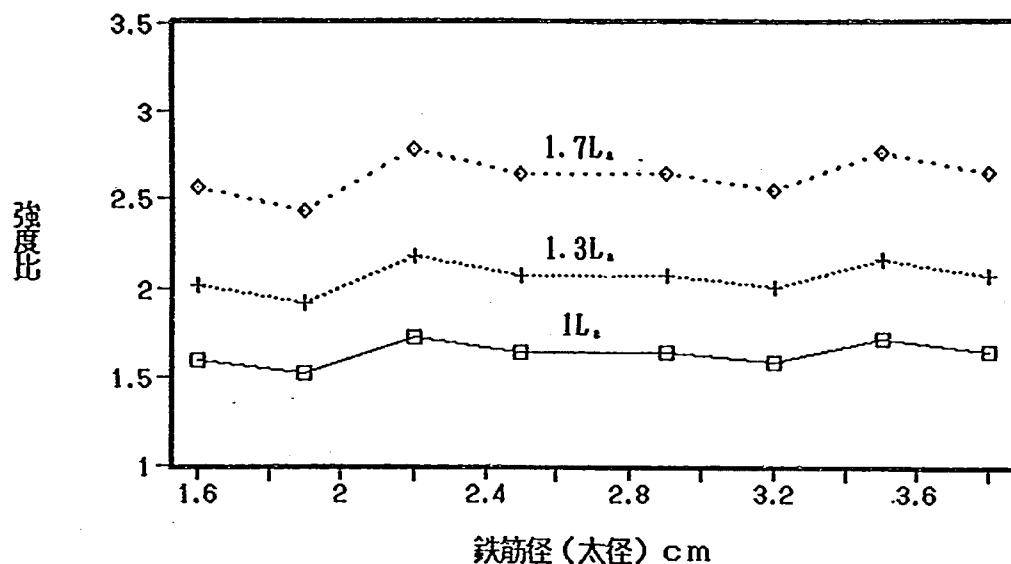


図-4 細径鉄筋継手耐力／引張力（降伏点）

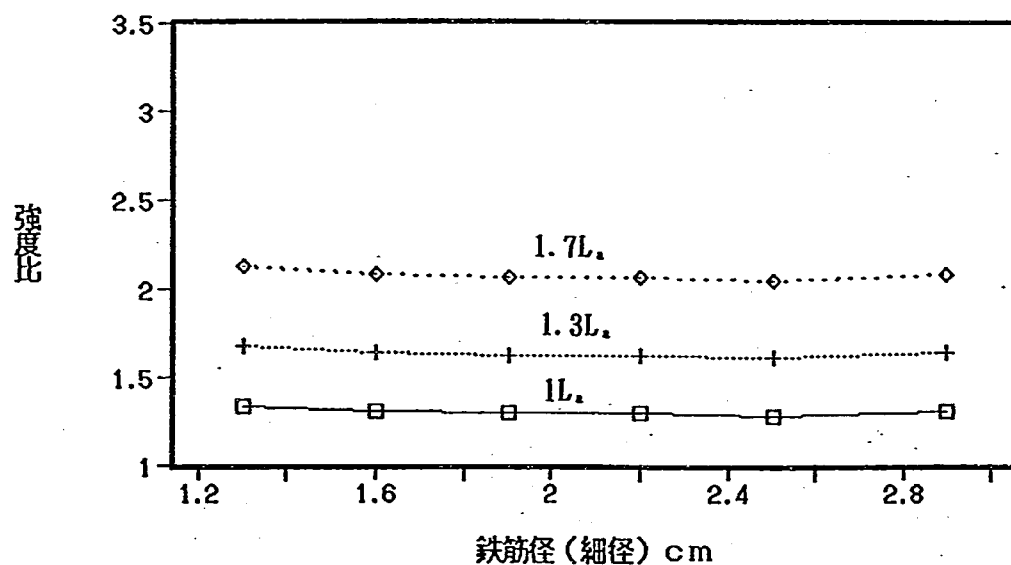
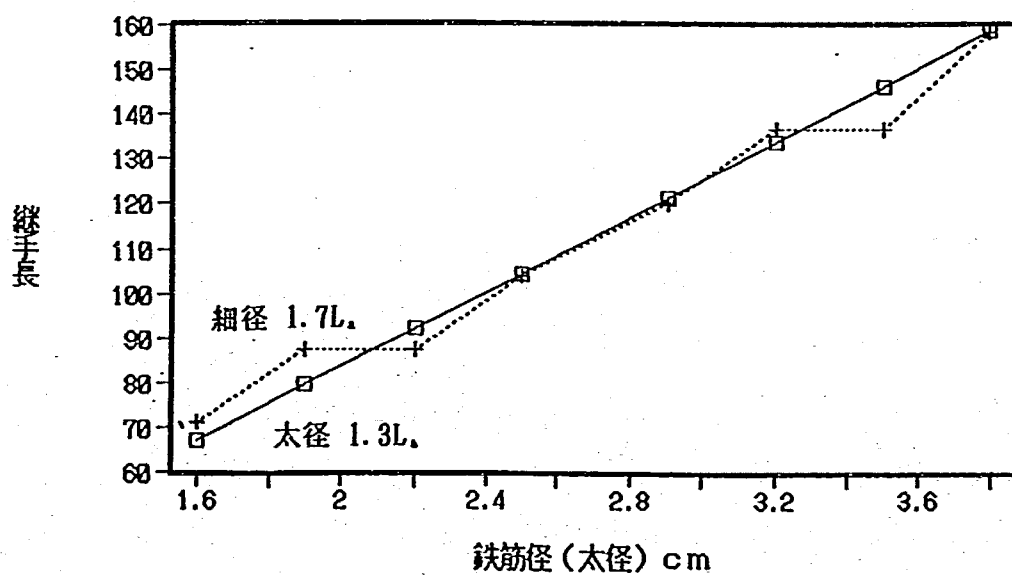


図-5 太径鉄筋と細径鉄筋の継手長の比較



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
平成5年3月(1993)

建設省土木研究所 地質化学部 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 株式会社 鹿島建設 株式会社 熊谷組
株式会社 佐藤工業 株式会社 清水建設 株式会社 銭高組
株式会社 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

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ている。本報告書は、90～92年度に行った①流動化コンクリート、高流動コンクリートおよび鉄筋の加工・組立てについての文献調査、アンケート調査②同一断面に継手を集めた場合(全数継手)の影響③鉄筋の点溶接の調査研究成果をとりまとめたものである。

キーワード：自動化、鉄筋コンクリート構造物、流動化コンクリート、高流動コンクリート、鉄筋の加工・組立て、ユニット鉄筋、全数継手、点溶接

郵便はがき

3 0 5 - □ □

41円切手
をはって
下さい。

建設省土木研究所

コンクリート研究室行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 037

No. 037

配布先氏名

配布先住所

共同研究報告書第89号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印