

太径異形鉄筋 D-51 を用いた橋脚の設計と施工

玉 置 脩*
佐 藤 重 尚**

1. ま え が き

構造物は近年ますます大型化しつつある。これは、一方では材料の性質や設計施工の技術が進歩してきたからであり、他方では、社会的環境がそれを要求しているからであると思われる。しかし、これらは必ずしもバランスがとれているとはかぎらない。都市内高架橋に例をとると、平面街路の交差点その他でスパンの大きい高架橋が要求された場合に、上部構造は鋼床版等の利用によってつくることができたとしても、街路の交通車線の確保のために、橋脚幅が非常に制約されたり、あるいは地下に大きな埋設物や地下構造物等があると、大きな橋脚や基礎をつくるのが困難になる。このことは、一方では、材料や技術が社会的要請である長大スパンの上部桁の製作を可能にしなが、他方では、街路交通等の社会的要請をみたくほど小断面の橋脚をつくれるまでには下部工の設計施工が進んでいないということになる。このように、さまざまな矛盾をもちながら構造物はつくられてきたが、このためにいろいろな無理が生じている。

鉄筋コンクリート構造物の場合、このような無理の一つとして、鉄筋の過密配置ということがあげられる。鉄筋コンクリート橋脚の柱やはりのつけ根では、32 mm 異形鉄筋が 10 cm 間隔、3 段配筋ということにもなりかねないし、柱とはりの交わる隅角部では、コンクリートの施工性が心配になることもある。このとき、もっと太い径の鉄筋を使えば、これらの悩みは減少するが、土木学会「鉄筋コンクリート標準示方書」に、「直径 32 mm をこえる鉄筋の許容応力度は資料がなく実績も少ないので責任技術者がきめるがよい」と書かれていることもあって、実際の構造物に使われる鉄筋は、D-32 までがほとんどで、ときとして D-35、きわめてまれに D-38 が使われるにすぎない。従来の実績では、十勝大橋におい

て直径 44 mm の丸鋼が使われた例があるし¹⁾、欧米においては 45~57 mm が使われている。

わが国の JIS には 41 mm までが規定されているが、今後はさらに太径の鉄筋が要求されるであろう。そのことを予見して鉄鋼メーカー数社では、直径 51 mm の異形棒鋼 D-51 を試作し、種々の研究を重ねてきた。首都高速道路公団では、それらの結果に基づき、D-51 を橋脚に使用したので、その設計と施工について実績をここに報告する。

2. 本工事に使用した D-51

建設省は D-51 を試作中の数社の鉄鋼メーカーのうち住友金属工業(株)に昭和 45 年度建設工業技術研究補助金を交付し「太径鉄筋の実用化に関する研究」と称する研究を行なわせた。その実施のため、同社の要請により東京大学の国分教授を委員長とする「太径鉄筋実用化研究委員会」が設けられ、実際の研究が行なわれてきた。その結果はすでに発表されているので^{2)~4)}、その概略を紹介する。

(1) 付着性能²⁾

D-51 (SD-35) の付着性能を知る目的で、30×20×180 cm のコンクリートブロックに D-51 を埋込みスターラップで補強した供試体と、比較用に 15×10×90 cm のコンクリートブロックに D-25 を埋込みスターラップで補強した供試体を用いて、ブロック端部に反力をとらせる方法で、鉄筋の引抜試験を行なった。その結果では

① 加力端の鉄筋応力が 2000 kg/cm² (許容応力) に達したときに、鉄筋にひずみの生じている範囲を定着長とすると、この値は D-51、D-25 とともに式 (1) で計算した値の約 1/2 であった。

$$l = \frac{\sigma_{sa}\phi}{4\tau_{oa}} \dots\dots\dots(1)$$

* 正会員 首都高速道路公団工務部工務企画課長
** 正会員 首都高速道路公団第三建設部設計課

ここに l : 定着長

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度

ϕ : 鉄筋径

τ_{oa} : 鉄筋とコンクリートの許容付着応力度

② 加工端の鉄筋の鉄筋応力がほぼ 2000 kg/cm^2 に達すると、かぶりが 1.0ϕ であるコンクリート表面に、鉄筋にそったひびわれが入り、荷重に比例してひびわれ幅が増大した。このことは、D-51、D-25 ともに同様であった。

以上の実験結果から、D-51 の付着性能は D-25 と変らないとしている。

(2) はりおよび柱に用いた場合のそれらの耐力³⁾

はりの耐力を知るために、 $50 \times 60 \text{ cm}$ の供試体に D-51 (SD-35) を、鉄筋間隔およびかぶりを変えて 5 種類の配筋として用い、スパンを 5 m として、曲げスパン 90 cm の 2 点集中載荷で載荷試験を行なった。また、柱の耐力を知るために、 $50 \times 60 \times 540 \text{ cm}$ の供試体に D-51 (SD-35)、D-32 (SD-35)、SRC (SS-41) の 3 種類の配筋をし、柱断面の重心から 90 cm 偏心 ($l/D=1.5$) させて、供試区間に軸力と曲げを作用させる方法で載荷試験を行なっている。

その結果

① はりおよび柱の試験とも、引張側コンクリート断面を無視し、鉄筋とコンクリートの弾性係数比 n を 15 として計算する従来の慣用計算法が、実験と比較的良好一致をみせている。

② ひびわれ幅は従来の細径よりいくぶん大きい、鉄筋間隔、コンクリートのかぶりをある適当な範囲に選べば、細径のひびわれ幅に近づけることができる。

③ 最終耐力は、従来の細径を用いた場合と同等である。

以上の結果から、D-51 は配筋を適切に選べば、はりおよび柱の主鉄筋として使えるとしている。

(3) ガス圧接法⁴⁾

従来のガス圧接法では、太径になると鉄筋の接合面が酸化されてフラット破面と称する不完全圧接部ができ、強度が低下する。このため、アセチレンガスの不完全燃焼により生ずる炭素が接合面全体に付着する程度の強力な還元炎(以下強還元炎)を用いた、強還元炎ガス圧接法が開発されているがこれは接合面を密着させるまで、強還元炎で加熱することによって

フラット破面が生じないようにしたものである。接合面密着後は効率を上げ、圧接時間を短縮するため中性炎で加熱する。この方法を用いるための特殊なバーナーも開発されている。また、一般の工事現場と同じ環境で、強還元炎により D-51 を圧接し、引張りおよび曲げ試験を行なっている。引張試験は、こぶつき材 20 本、0.8D 機削材 5 本について行なったが、いずれも母材原質部で破断した。曲げ試験は、こぶつき材 10 本、0.8-D 機削材 5 本について行なったが、 $150^\circ \sim 180^\circ$ 曲げがいずれも折損せず、良好に行なわれた。

(5) 設計指針(案)

前記委員会は、とくに小委員会(小委員長・村田都立大学教授)を設けて「太径鉄筋(D-51)を用いた構造物の設計指針(案)」を作成した。その設計指針(案)は昭和 45 年度末にでき、その後若干修正されて、46 年度末に「太径鉄筋(D-51)を用いた構造物の設計指針」となって完成したが、ここに述べる D-51 を用いた橋脚は当初の設計指針(案)に基づいて設計されている。これはすでに発表されているので⁵⁾、ここでは説明を省略する。

3. D-51 を用いた橋脚の設計と施工

(1) 位置および構造概要

D-51 を用いた鉄筋コンクリート橋脚は図-1 に示すとおり、首都高速道路 6 号線(2 期) 631 工区から 633 工区にある。本工区は墨田区堤通り 1 丁目白鬚橋付近から隅田川左岸にそって、東京都の江東再開発地区を北上し、旧綾瀬川に至る延長約 1.9 km 、標準幅員 18 m の高架道路である。上部工は平均スパン 40 m 、床版に軽量コンクリートを使用した単純活荷重合成 I 桁である。基礎杭はリバース $\phi 1500$ 、 $l \approx 35 \text{ m}$ である。D-51 は、

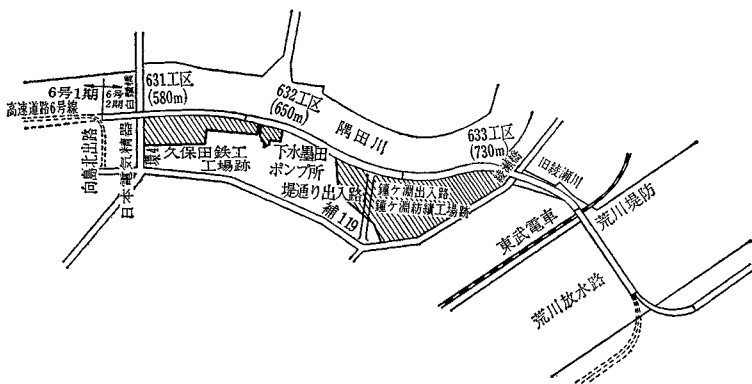


図-1 首都高速 6 号 2 期線の路線概要

D-32 以下の鉄筋を使用した場合、3 段以上の配筋になる断面に用いて、ラーメン橋脚の橋軸方向鉄筋、長い張出しばり、ランプ等により断面に制約がある橋脚に使用している。D-51 の使用量は 304 t である。

(2) 設計上の問題点

a) かぶりと許容応力度

設計指針(案)によれば、かぶりははりで 90 mm、柱で 110 mm を推奨しているが、ここでは、はり、柱とも 100 mm とした。また、設計指針(案)は D-51 の常時許容引張応力度を 1800 kg/cm^2 (SD-30) としているが、本工区では初めての構造物であるため、 1500 kg/cm^2 とした。地震時の許容引張応力度は、 $1800 \times 1.5 = 2700 \text{ kg/cm}^2$ とすることも可能であると思われるが、ここでは 2500 kg/cm^2 におさえた。コンクリート強度は $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$ である。

b) D-51 の定着と曲げ半径

柱下端のフーチング中における定着は、設計指針(案)ではフーチング内に定着長を取り、D-51 または L 型鋼等の定着板で補強してよいとしている。しかし、本工区では、従来どおり直角曲げとした。はりの 2 段目にある鉄筋で計算上必要でなくなったものは、設計指針(案)どおり、折曲げ鉄筋としては用いず、若干曲げ下げて、そのまま定着させた。せん断力はすべてスターラップで受けもたせた。しかし本工区においては、鉄筋の組立てを考慮して、設計外の D-32 を折り曲げて、適当に配置した。フックはすべて設計指針(案)どおり直角曲げとした。

曲げ半径は、設計指針(案)により一般の鉄筋と同じとした。すなわち、隅角部およびフーチング定着の外側は 10ϕ 、はりの途中の定着のための曲げ下げは 5ϕ 、フーチング定着の内側およびフックは 3ϕ とした。

c) 帯鉄筋

大きな曲げを受ける柱の帯鉄筋量の算出方法については明確なものがないが、サンフェルナンド地震の結果を考慮して帯鉄筋の量を多くした。また大きなねじりを受ける脚柱においては、狩野・泉の提案⁹⁾により検討し、帯鉄筋量を多くした。その結果、隅角部や脚柱下端部は D-16 を 15 cm 間隔とし、一般部は D-16 を 25 cm 間

隔とした。一般の脚柱の帯鉄筋の形状においても、図-2 のように辺でラップし定着長を断面内に曲げ入れて定着した。また、大きなねじりを受ける脚柱においては、上記の帯鉄筋以外に、中間帯鉄筋として図-3 のようにコの字形の D-16 を十字に配置して、断面の割裂を防ぐようにした。

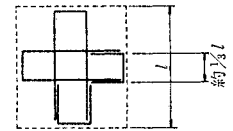


図-3 帯鉄筋の形状(2)

d) 設計図

本工区の設計例として、逆 L 形橋脚の設計図を図-4 に示す。図中において、6'-6' 断面は 6-6 断面を D-32 で設計した場合の断面図である。設計条件は D-51 : $\sigma_{sa} = 1500 \text{ kg/cm}^2$ 、D-32 : $\sigma_{sa} = 1600 \text{ kg/cm}^2$ で、 $\sigma_{ca} = 100 \text{ kg/cm}^2$ である。

(3) D-51 を用いた橋脚の施工

a) 圧接技能試験

圧接作業に先立って、技能者の技能試験を実施した。本工区で圧接作業に従事する技能者は 3 人であり、ともに NAK 3 種および 5 種の資格を有し、D-51 の圧接経験者である。1 人当たり 写真-1 に示す横継圧接 14 本と

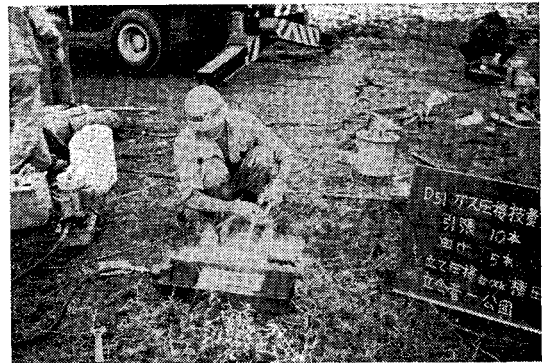
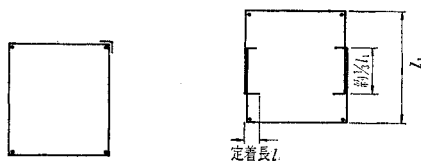


写真-1 横継圧接



写真-2 縦継圧接

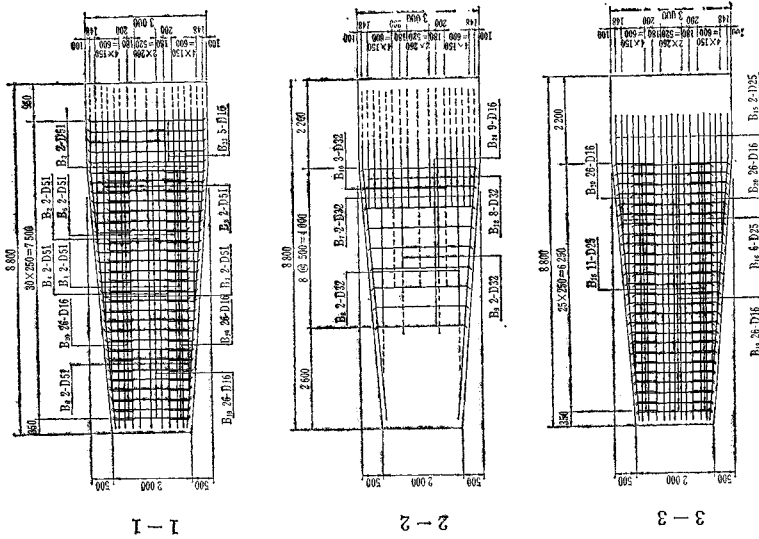


(1) 従来の帯鉄筋

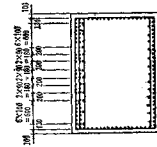
(2) 本工区の帯鉄筋

図-2 帯鉄筋の形状(1)

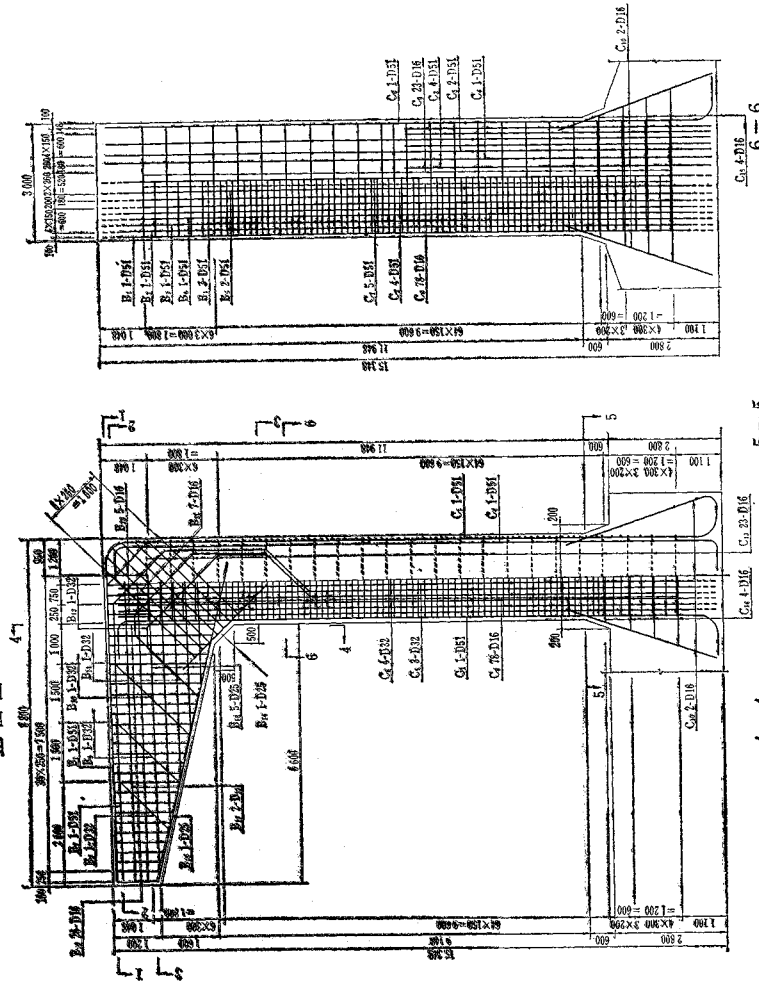
平面図



6'-6'



側面図



6-6

5-5

4-4

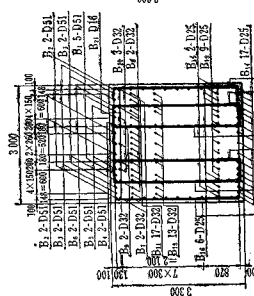
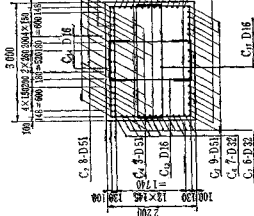
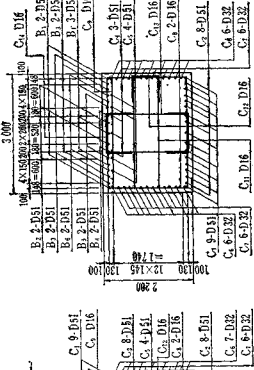


図4 逆L形橋脚の設計図

表-1 圧接技能者試験成績表

種 別		断 面		降 伏 点		引 張 強 度		曲 げ			備 考
公 称 番 号	径 (mm)	断 面 積 (mm ²)	高 (kg)	応 力 度 (kg/mm ²)	高 (kg)	応 力 度 (kg/mm ²)	曲げ角度	内側直径 (mm)	結 果	切断位置	
D-51	1	50.8	2 027.0			107 400	53.0				母 材
D-51	2	50.8	2 027.0			107 200	52.9				母 材
D-51	3	50.8	2 027.0					90°	4-D	Good	
D-51	4	50.8	2 027.0					90°	4-D	Good	
D-51	5	40.2	1 269.2	48 800	38.4	73 700	58.1				母 材
D-51	6	40.1	1 269.9	47 600	37.7	72 100	57.1				圧 接 面
D-51	7	40.1	1 262.9	48 000	38.0	73 400	58.1				圧 接 面
D-51	8	40.1	1 262.9	48 100	38.1	72 400	57.3				圧 接 面
D-51	9	40.15	1 266.1	48 800	38.5	73 000	57.7				母 材
D-51	10	40.15	1 266.1	48 200	38.1	72 600	57.3				圧 接 面
D-51	11	40.1	1 262.9	48 100	38.1	72 500	57.4				圧 接 面
D-51	12	40.05	1 259.8	47 000	37.3	72 500	57.6				圧 接 面
D-51	13	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	14	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	15	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	1	50.8	2 027.0			107 100	52.8				母 材
D-51	2	50.8	2 027.0			107 100	52.8				母 材
D-51	3	50.8	2 027.0					90°	4-D	Good	
D-51	4	50.8	2 027.0					90°	4-D	Good	
D-51	5	40.05	1 259.8	48 000	38.1	72 000	57.2				圧 接 面
D-51	6	40.1	1 262.9	48 600	38.5	72 700	57.6				圧 接 面
D-51	7	40.1	1 262.9	48 100	38.1	74 000	58.6				圧 接 面
D-51	8	40.1	1 262.9	48 100	38.1	73 200	58.0				圧 接 面
D-51	9	40.05	1 259.8	49 400	39.2	74 200	58.9				母 材
D-51	10	40.05	1 259.8	49 300	39.1	73 400	58.3				母 材
D-51	11	40.1	1 262.9	48 100	38.1	73 100	57.9				母 材
D-51	12	40.1	1 262.9	48 100	38.1	74 200	58.8				母 材
D-51	13	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	14	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	15	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	1	50.8	2 027.0			108 800	53.7				母 材
D-51	2	50.8	2 027.0			106 400	52.5				母 材
D-51	3	50.8	2 027.0					90°	4-D	Good	
D-51	4	50.8	2 027.0					90°	4-D	Good	
D-51	5	40.15	1 266.1	48 400	38.2	74 200	58.6				母 材
D-51	6	40.15	1 266.1	48 600	38.4	73 400	58.0				圧 接 面
D-51	7	40.1	1 262.9	49 000	38.8	74 000	58.6				圧 接 面
D-51	8	40.1	1 262.9	48 200	38.2	73 000	57.8				圧 接 面
D-51	9	39.95	1 253.5	49 000	39.1	73 400	58.6				母 材
D-51	10	40.1	1 262.9	49 400	39.1	73 900	58.5				母 材
D-51	11	40.1	1 262.9	48 400	38.3	73 700	58.4				圧 接 面
D-51	12	40.1	1 262.9	49 500	39.2	74 000	58.6				圧 接 面
D-51	13	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	14	40.0						90°	4-D	Good	
D-51	15	40.0						90°	4-D	Good	

写真-2 に示すようにクレーンで吊った状態の縦継ぎ1本、計 15 本の圧接をした。この結果は表-1 のとおりであった。公称径 50.8 mm の 0.8 に切削した引張試験の 60% が圧接面で切断した。この断面には、円周に小さいフラットが認められ、切断がここから始まっていた。しぼりも母材切断箇所より小さかった。しかし、降伏点強度、引張強度とも SD-30 の JIS 規格を満足していた。また、公称径まで切削した引張試験では 1 本も圧接箇所でも切断せず、曲げ試験も良好であったので、本工区においては抜取検査をして安全性を確かめることを前提に採用にふみきった。

b) 曲げ加工

D-51 を曲げ加工する場合、大きな力が必要で従来のベンダーでは曲げ加工が困難である。設計指針(案)においては熱間加工をしてもよいとしている。熱間加工はコークス炉を設け、15~20 分間まんべんなく加熱し、鉄筋が赤灯色(900~950°C)になったとき、すばやく曲げ型にそって曲げ加工をする。しかし、現場でこの方法を試みたが、まんべんなく加熱することが非常に困難であり、よい円が得られなかった。そこで、写真-3 に示すように従来のベンダーのアーム長を 1 m に延長し、モーターの馬力をあげることにより 10φ の冷間曲げ加

工が可能になった。しかし、5φ以下の曲げ加工の場合はアーム長を長くすると小さい半径で曲げ加工することができないので、写真-4に示す油圧ジャッキを応用したベンダーを使用して曲げ加工をした。

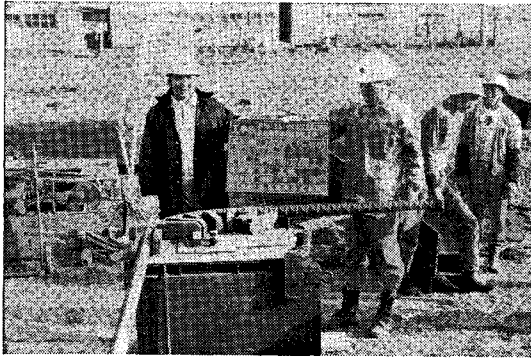


写真-3 改良型ベンダー



写真-4 油圧式曲げ加工機



写真-5 D-51のフーチング定着

c) 脚柱鉄筋の組立て

設計の項において述べたフーチングへの鉄筋の定着については、写真-5に示すように、パイプサポートにそわせて固定することで、十分な施工が可能であった。フーチングのコンクリート打設が完了すると、強固な足場を組立て、これをガイドにして、鉄筋をクレーンで1本1本吊込み、圧接器に取付けて、縦圧接を行なった(写真-6)。帯鉄筋は二人でコの字の両端を広げ、1人が中央を支えて、所定の位置に結束した。なお、D-51の結束線は従来の20番線では不十分であると考えられたので、10番線を使用した。

d) はり鉄筋の組立て

はりの鉄筋建込み状況を写真-7に示す。D-32までのはり鉄筋の場合、折り曲げ鉄筋を利用してはりの上鉄筋を組立てていたが、D-51の場合はこれだけでは不十分であり、写真-7にみられるように、アングルで強

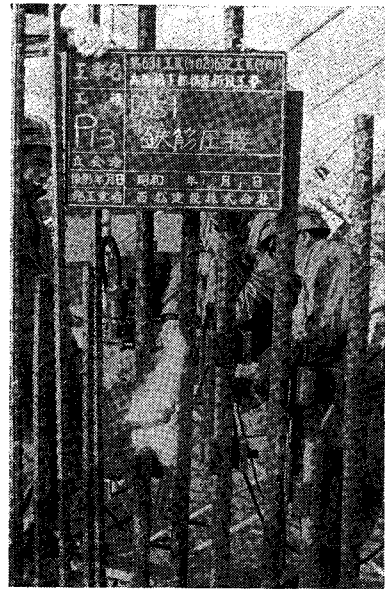


写真-6 脚柱鉄筋の圧接

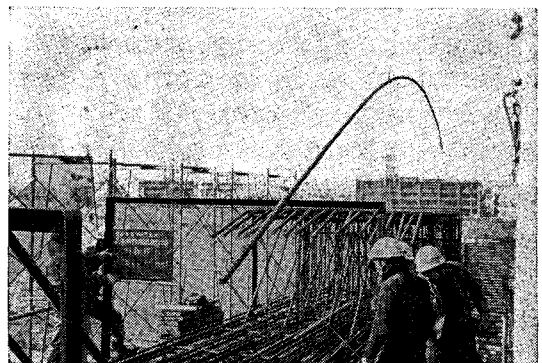


写真-7 はり鉄筋の建込み

固な支持枠を製作し、これにより D-51 を組立てた。はり鉄筋の場合、あらかじめ地上で横継圧接を行なって、はり上での圧接箇所をできるだけ少なくした。

4. あとがき

以上、太径鉄筋 D-51 を用いた橋脚の設計と施工について報告した。

太径鉄筋の今後の問題は、定着、折り曲げ、その他の構造細目と、加工、組立て、継手等の施工性であろう。太径鉄筋に対する要求はさらに高まるであろうから、こういった問題に対する検討が、いっそうなされなければならない。それと同時に、D-51 を用いた場合には、D-41、D-38 等との併用が当然考えられるから、これらの太径鉄筋の性質、とくに許容引張応力度のうち、常時ひびわれが生ずるはり等の場合について、その値を決める

必要があろう。

今後さらに検討が進んで、現在の過密配筋の悩みが消滅し、鉄筋コンクリート構造の設計施工技術が発展することを期待したい。

参考文献

- 1) 横道英雄：鉄筋コンクリート橋，土木工学叢書，技報堂。
- 2) 土堅 秀・久光脩文・白川 潔：太径異形鉄筋の定着長試験，土木学会第 26 回年次学術講演会講演概要集第 5 部，昭和 46 年 10 月。
- 3) 同上：太径異形鉄筋を用いた鉄筋コンクリート部材のひびわれ特性，同上。
- 4) 土堅 秀・伊藤慶典・道下明雄：太径異形鉄筋のガス圧接法，同上。
- 5) 清野茂次・横溝幸雄：太径鉄筋の利用と問題点，橋梁と基礎，Vol. 6, No. 2, 1972。
- 6) 狩野芳一・泉 満明：コンクリート部材の振りについて，コンクリート・ジャーナル，Vol. 4, No. 3~4, April, 1966。

(1972.7.17・受付/1972.9.11・再受付)

新刊 ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針

●定価 900 円・会員特価 800 円 (〒 90 円)●

土木技術者のための岩盤力学 <三版>

●定価 3 600 円・会員特価 3 000 円 (〒 200 円)●

共立出版 東京都文京区小日向 4
電話(03)947-2511

新しい水利科学の確立に向かつて……

水文学講座 全15巻

編集 山本莊毅・金子 良・菅原正巳・高橋 裕・榎根 勇

水文学は、自然界における水の循環の過程で生起するすべての問題を取り扱う科学である。その中には、もちろん自然と人間とのかわりあいに関する、水質汚濁や地盤沈下などの環境問題も含まれる。本講座は水文学の基本である「水循環のメカニズム」を地球的立場から解明するとともに、今日的課題として注目されている水資源の開発・制御、それに伴う副次的な水質汚染にも言及している。

第1回 2冊同時発売中!!

1 水文学総論……山本莊毅編・一六〇〇円

7 流出解析法……菅原正巳著・一八〇〇円

次回配本 12月下旬

3 水の循環……榎根 勇著・(〒)一六〇〇円

■全巻内容

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 水文学総論 山本莊毅 | 9 汚染水質機構 半谷高久 |
| 2 図説水文学 山本・高橋 | 10 水温論 新井・西沢 |
| 3 水の循環 榎根 勇 | 11 河川水文学 高橋 裕 |
| 4 水文統計 菅原正巳 | 12 農業水文学 金子 良 |
| 5 河川営力論 水山・古藤田 | 13 森林水文学 中野秀章 |
| 6 地下水水文学 山本・新藤 | 14 陸水生態学 津田松苗 |
| 7 流出解析法 菅原正巳 | 15 水法論 金沢良雄 |
| 8 確率水文 石原・角屋 | |
- (全巻 A5 判・上製函入 二〇〇〇三〇〇頁 予定価 一四〇〇〇〜二〇〇〇円)