

大阪駅高架橋の変状とその対策

※国有鉄道常務理事 藤井松太郎※

I 大阪駅の沈下の状況

(1) 大阪地区の地質と沈下の関係

大阪平野は上町台地附近を除いては、昔は灘波江と云われる水域の一部でこの中に大小多数の浮島があったようで、この部分が淀川水系の運搬する土砂によって次第に埋立てられ、陸化したものである。大阪市内の地層については、山根博士の分類があり、これによれば下部から上部にわたって、つぎのような順序となっている（図-1、図-2参照）。

a) 大阪基盤層（古期洪積層）

粘土、砂、砂礫の互層で、上町台地で深度が浅く、北方、西方に行くに従って深くなる。すなわち地表よりの概略の深度は上町台地 9～12m，天満附近で 20～30m，梅田附近で 30～40m に達する。

b) 上町層

砂、砂礫の互層で基盤層を覆っている。上町、阿倍野台地に発達し台地周辺の平地には見られない。

c) 天満層

砂、砂礫の互層で、粘土が挟在する。台地周辺の平地において基盤層を覆いその厚さは 10～15 m 程度である。

d) 梅田層

粘土、砂、砂礫より成り粘土層を中核とする。大阪平野を構成する地層の中最も新しいもので平地全般に分布する。梅田新町と元木津を結ぶ線以西で層厚が大きいところで 20～25m に達する。中核をなす粘土は本層の下半部でその厚さ 10m 程度である。

大阪地区における地盤沈下の主原因は粘土層の圧密であり、特に表面に近い第1粘土層（梅田粘土層）の収縮が全沈下量の大部分を占めると云われる。これは西九条公園内の観測用井戸（深さ33 m及び176 m）の沈下状況より粘土層別の沈下量が測定された結果によるものである。

地盤沈下の原因については、種々の説が提唱されていたが、今日最も有力であると考えられるものは地下水位低下説である。この問題を究明するために昭和13年末から九条公園内において、地下水位と地盤沈下とを測定した結果、地下水位の変化に対し地盤沈下の速度は十分な関連性があることが認められた。地盤沈下の機構は、深井戸による地下水の汲み上げによって天満層下の滞水層の水圧が低下し、粘土層内に過剰間隙水圧を生じ、粘土層内の水が下の滞水層に向かって脱水することによって、粘土の圧密収縮が生ずることにある。

(2) 大阪駅高架橋の沈下状況

高架橋の沈下については、施工当時より既に問題を生じており、特に昭和9年室戸台風により、大阪湾沿岸一帯の地盤沈下が大きく取上げられるに及んで、高架橋の問題も地盤沈下と関連あることが漸次判明し、本格的調査研究が開始された。

高架橋の沈下は大阪市全般に亘る沈下と高架橋の荷重による局部的沈下との複合したものである。高架橋に及ぼす被害の点より見れば基礎条件の差に基づく不等沈下がより重要性をもつものと思われる。大阪駅の構造物及其基礎関係を図-3に示す。

図-2により基礎状態を大別すれば、大体次の4つの区間に分けることができる。

区 間	基 礎 状 況	沈 下 状 況
梅田大通架道橋付近	地下鉄ケーソン上にあり ケーソンは杭基礎	地下僅少
同 上 前 後 取 付 部	松 杭	沈下僅少、武智杭区間との 間に不等沈下1.0 m以上を 生ず
乗 降 場 区 間	武 智 杭	不等沈下なし。沈下量 0.8 m程度
西 部 盛 土 区 間		地盤破壊沈下 沈下量 2.6 m程度

梅田大通架道橋附近は、大阪市営の地下鉄があり、この上にある高架橋は地下鉄の構造物を基礎とする状態にある。従ってその基礎の先端は天満層の砂礫層に達してい

る。

また、その前後の小区間も天満層に達する松杭によって基礎が構成されている。沈下の主体をなすものは表面下10数米より20数米の間にある厚さ約10米の粘土層の圧密収縮であるから、この区間の基礎はこの層を貫いて下部の砂礫層に達しているため、沈下はほとんど生じていない。

梅田大通架道橋の前後では、地下鉄構築時崩壊事故をおこした影響もあって、この附近の武智杭区間の沈下量が大きく、松杭と武智杭との境で、1m以上に及ぶ沈下差を生じている。

乗降場区間は、基礎は長さ4.6m～6.5mの武智杭（図－4参照）であって、著しい不等沈下は見られないが、駅本屋に近い部分は本屋構築によって地盤がゆるめられたため、沈下は比較的大きい。

西方盛土区間は高架橋部分に比して荷重が大きい為、沈下は著しく、特に初期において築堤左右の土地が隆起し、地盤土の側方流動の兆候が見られ、昭和9年～昭和16年の間に推定2mに及ぶ沈下が生じた。

高架橋の線路と直角方向の沈下状況は、一般的に云って左右両側の沈下量が少なく中央の沈下量が多い。これは高架橋の荷重による地盤内の応力分布に応じた沈下を示しているものと思われる。

駅の中央コンコース部分における横断面では駅本屋に近い方が沈下が大きく、駅本屋（南側）から管理局側（北側）に向って沈下が少なくなっている。この部分が一般部分と沈下の状況を異にしているのは、駅本屋構築の際地盤が弛められたためであろうと考えられる。

Ⅱ 構造物の被害状況とその原因調査

1. 変状調査

a 昭和15年の調査、昭和15年の調査は主として地下鉄を中心に、不等沈下のはなはだしい部分について行われた。不等沈下の著しい部分は地下鉄に隣接した東京寄りの2径間で、ひびわれの状況は図－5の通りである。これは地下鉄側の基礎が地下鉄の基礎に乗っており、他の2つの柱の基礎が松杭であるために不等沈下があり、ひびわれがでたものと考えられる。

b 昭和27年の調査、昭和27年には大阪駅構内全般に亘って調査が行われた。区域的には、中央部及び東京方の東部の被害が大きいのので、この部分に調査の重点が

おかれた。

昭和15年の調査と昭和27年の調査を比較して考えると、調査の主対象が変わっていることである。昭和15年には、(a)に述べたように地下鉄東寄りのラーメンが調査され、昭和27年には、それよりなお東寄りのフラットスラブ及び阪急跨線橋西側橋台附近のひびわれが調査の対象となっている。この部分のひびわれは相当に大きいので、昭和15年の調査で見落される筈はないので、この部分は昭和15年には大した変状を示していなかったと考えられ、その後逐年進行したものと考えられる。この原因としては昭和20年に戦災による火災をうけていること、および地下鉄東側ラーメンの基礎が松杭で比較的沈下しないのに反し、フラットスラブと阪急跨線橋西側橋台の基礎が武智杭で沈下のはなはだしい区間であることが考えられる。

2. 構造物の被害状況とその原因調査

構造物の変状に関する解析は容易でないが、各種の試験・調査によって判明した点を述べればつぎの通りである。

(a) フラットスラブ

阪急跨線橋西橋台より始まる武智杭部分のフラットスラブおよび2径間の単版桁を隔てた松杭部分のフラットスラブは共に柱に斜方向のひびわれがあり、スラブには下側に網状の無数のひびわれがある(図-6、図-7)。また、スラブの上面を道床砂利を掘り起して調査したところひびわれがあり(図-8)部分的にはスラブ面よりかなりの漏水がある。

昭和22年に戦災復旧工事を施工した際に、たいしたひびわれがないために放置されていた部分にも、その後相当なひびわれが見られるので、ひびわれはある程度進行したものと判断されるが、一方復旧工事を施した柱(コンクリート巻き)および床版(モルタル吹付)にはその後ほとんどひびわれが発見されていない。

このフラットスラブは戦災による火災をうけており、設計は4方向主鉄筋として行われたものであるが、現行の土木学会の示方書に従って2方向主鉄筋として計算すれば鉄筋応力が 4000 kg/cm^2 にも及ぶ部分がある。このために、実在のフラットスラブにどんな応力がおこっているのであろうかということが問題となるので、活荷重応力および死荷重応力を測定した。その結果活荷

重応力は極めて小さく、ひびわれの原因にはならないことが確認され、死荷重応力の測定値は鉄筋応力が 2000kg/cm^2 以上に及ぶものがあり、この原因は、基礎の不等沈下、コンクリートのクリープによる鉄筋への応力移行、火災の影響、等であると考えられ、このように大きな死荷重応力がおこっているものは、活荷重の載荷によって降伏点応力度（実測値 2800kg/cm^2 ）前後の鉄筋応力となるので、何等かの補強を必要とすることが明らかになった。

(b) ラーメン

大阪高架橋の大部分を形づくるラーメン部分では、梅田大通架道橋の前後が不等沈下による被害がもっとも多い。

木杭部分のフラットスラブと梅田大通架道橋東橋台との間にある2径間のラーメンは、各はり並に脚柱共ほとんどひびわれがでており、鉄筋が露出し、腐蝕し、コンクリートが浮いている所がある。この部分は一部戦災により、昭和20年フラットスラブと同様に火災をうけたところである。なお昭和15年の調査（前述）で、ひびわれが報告されている部分である。

梅田大通より西側（神戸側）の東コンコース附近では、ほとんどひびわれのない柱およびはり、大きなひびわれのでている柱とが混在している。

また、東コンコース東北隅の西側ラーメンは、線路直角方向に5～6径間の連続ラーメンになっており、線路直角方向にも不等沈下が見られ、連続ラーメンの接続部の抱き合せの柱は片側が武智杭、片側が木杭基礎になっているため、沈下しない木杭側の柱と沈下した武智杭側の柱との接触面に鉛直方向のずれがおこっている（図-9）。

構内中央部附近のラーメンは全部が武智杭であるが、全体的に見て、線路直角方向に舟底状の沈下をおこしているが、各ラーメンが横方向に連続していないために、構造物には損傷が少ない。

ラーメン部分についても、活荷重及び死荷重の測定を行った。測定結果は、活荷重応力はフラットスラブと同様極めて小さく、死荷重応力は、ひびわれの大きい部分には大きく 2000kg/cm^2 をこえるものがあり、ひびわれの少ない部分は小さかった。このラーメン部分もフラットスラブと同様補強を必要とする。

(c) 単版桁

東コンコース東北部の単版桁は、木杭部分と武智杭部分との間に架けられているため、武智杭部分の沈下によって、ひどく傾斜をおこし（図-10）、ひびわれおよび桁座面との間に空隙（図-11）ができた。支承部ではコンクリートが破壊し、このために防水工が破れ、漏水が甚しく、また橋面上にある高欄、ダクト等も破損している。版はこれを支えるラーメンの不等沈下により、三辺支持のような形となって、版に斜めのひびわれを生じている（図-12）。

単版桁の死荷重応力も測定したが、鉄筋の許容応力度以下の値であった。

(d) 木杭の腐蝕

梅田大通架道橋前後は天満層に達する長さ27 mの松杭によって支えられているため、沈下はほとんど見られないが、この附近の構造物にもひびわれが発見されたので、基礎を調査したところ基礎と均しコンクリートとの間の空隙並びに腐蝕した木杭が発見された（図-13、図-14）

この木杭は頭部が完全に腐蝕して基礎下面と遊離し、基礎杭としての働きをせず構造物が完全に浮いているもの、腐蝕が表面だけにとどまって杭として一部働いているもの、また全く被害をうけていない杭、等が混在していた。このために腐蝕杭の分布を知るために柱の振動試験を行ったが、この方法では明らかにすることが困難であったので、梅田大通架道橋を中心として組織的に試験を行った結果、地下鉄に近いほど被害が大きいことがわかった。

松杭は施工当時は地下水位以下に設けられたものであるから、この状態に保たれておれば昆虫や菌類による被害はない筈であるが、地下水位の低下によって杭頭が地下水位以上になり、しかも季節、天候によって水位が昇降するので乾湿を交々受ける状態になっていたと考えられ、腐蝕松杭より穀象虫に似た昆虫や菌も発見されたこと等から腐蝕の原因は地下水位の低下と、米松につく腐朽菌とによるものであると推定された。

Ⅲ 応急対策

(1) 軌道面の整正

構造物の不等沈下による軌条面の不陸を整正するために、線路の扛上案と低下案とが検討された結果架道橋桁下空頭の関係、構造物の損傷の程度等から線路を扛上することに決定し、在来床版と軌条面との間隔が120 cm 以上の区間には合成桁（図-15、図

-16) を、120cm 未満100cm 以上の区間にP・C桁を(図-17, 図-18), それぞれ高架橋ラーメンの柱部分に支点が来るように架設して、線路を扛上し、在来床版と軌条面との間隔が100cm 未満の区間は炭がらを用いて扛上した。

合成桁及P・C桁を鉄道橋として用いるのは、はじめてであったので(1952年当時)、模型試験並びに実物試験を行い使用できることをたしかめた後決定したものであり、また架設後、活荷重応力の測定を行って安全度をたしかめた。

なお、線路扛上に伴い、乗降場の嵩置きによる扛上、阪急跨線橋の扛上が実施された。

(2) フラットスラブの補強

フラットスラブは死荷重応力測定の結果、 $2000\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の応力度がでていることがわかったので、早急に何等かの補強を必要とすることとなり、各種の補強案が比較検討された。先づ第一に考えられた案は現在の床版を放棄して、その下に新に床版をつくることが考えられたが、基礎杭が完全に補強されない間に上部だけを改造しても、再び変状をおこす。また現在床版の下に全面に床版を作ることは施工の完璧を期し難く、旧床版の撤去も非常に困難な作業である、等のことからこの案は棄てられ、現在フラットスラブを補強するだけで目的を達しうる茸型補強法が採られた。この補強法の要点は柱を太くし、ドロップパネル部を十分に拡大して、床版とドロップパネルとが一体となって、あたかも柱を中心とした片持版のように働くようにしたもので、これによって床版中央部にはほとんど活荷重応力はおこらず、大きい死荷重応力が存在していても構造的には何等差支えない状態となる(図-21)。従って基礎杭の補強が完成する迄に極く僅かの不等沈下がおこっても、各柱が独立であると考えられることから、構造的に十分安全である。

この補強の施工に当っては、旧床版および柱のコンクリートと補強したコンクリートとが一体として働くように、十分な付着力をもたせるために注入コンクリート工法によった。この工法も我国では研究日なお浅く多くの疑問があったので、注入法、配合、強度等について試験の上実施施工を行った(図-22)。

(3) 単版桁の扛上

単版桁には前述のように版の下側に斜めのひびわれがあり、道床砂利を撤去して見ると、版上面は下面よりもひびわれが甚しく、将来の使用に耐えるかどうか疑がわしかったので、応力測定を行ったが、許容応力度以下であり、版を整正すれば異常応力

はなくなるであろうと考えられたので、鉄筋応力を測定しつつ版を水平に復旧し、1 時ガス管を10 ～20 cm 床版にさく孔してセメント注入を行い、また表面にはセメントガンでモルタルを吹付けてひびわれを填充し、鉄筋とコンクリートとの付着が旧に戻るよう施工した。

(4) 木杭の補強

梅田大通架道橋前後の腐蝕した木杭頭部の補強として、腐蝕部分を取除き鉄骨コンクリートに置き換えた。

高架橋下は全部商店街として使用されているため、これを避けて堅坑を掘さくし、隧道式に柱基礎下を掘り、杭頭部を露出し、腐蝕部分の最低位置より下約30 cm のところで木杭を切断した。

杭切断後、切断面にジャッキ受台を置き、ジャッキを利用して杭のリバウンドを除去すると共に、各杭毎にほぼ施工した。すなわち鉄骨（古軌条利用）を挿入し、頭部に楔を入れ、ジャッキに反復して荷重を加え、楔が十分にきいて来る荷重を求めて、この荷重を転嫁荷重と考えて、受け替えを行った。

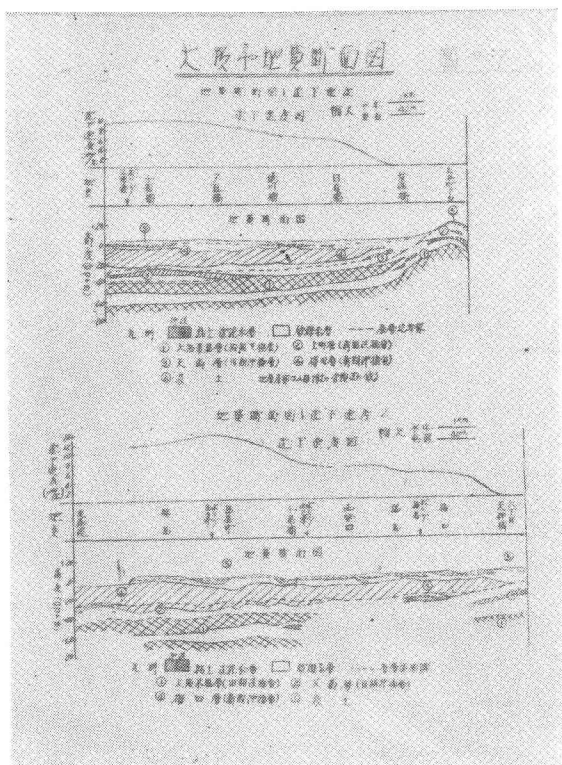
鉄骨の周囲には鉄製型枠を用いて保護コンクリートを打込んだ（図-23）。

Ⅳ 結 論

大阪駅付近の地盤沈下に伴い、高架橋が沈下したために、その沈下の状況、原因を究明し、先づ応急対策として、フラットスラブの補強、木杭の補強、桁の扛上、線路の整正を行ったが、地盤沈下はなお今後継続することが予測されるので、これの根本的対策を樹てることが必要であり、このために現在アンダーピンニングや多井式再充水法等について研究中である。

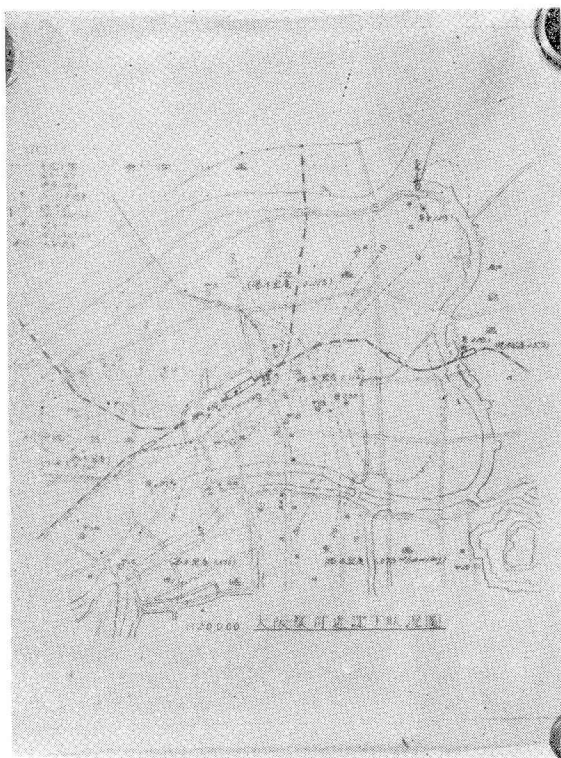
アンダーピンニングは現在の短い武智杭の代りに天満層に達する約25m の新杭を設けて、現在の高架橋を新杭で受替えるものである。また、多井式再充水法は大阪駅付近の沈下は主に天満層の地下水位の低下による梅田粘土層の脱水圧密によるものであるから、梅田粘土層に多くの井戸に水を満たして一定水圧の水を再充水して粘土の間隙水圧の低下を防ぎ沈下を止めようとするものである。

これらの新しい工法については、なお各種の問題があるため、目下引き続き試験研究中である。

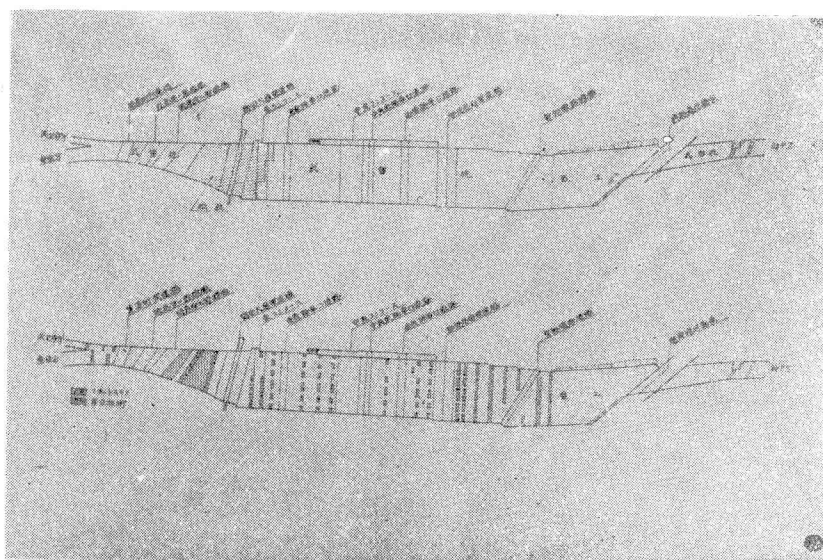


图—1

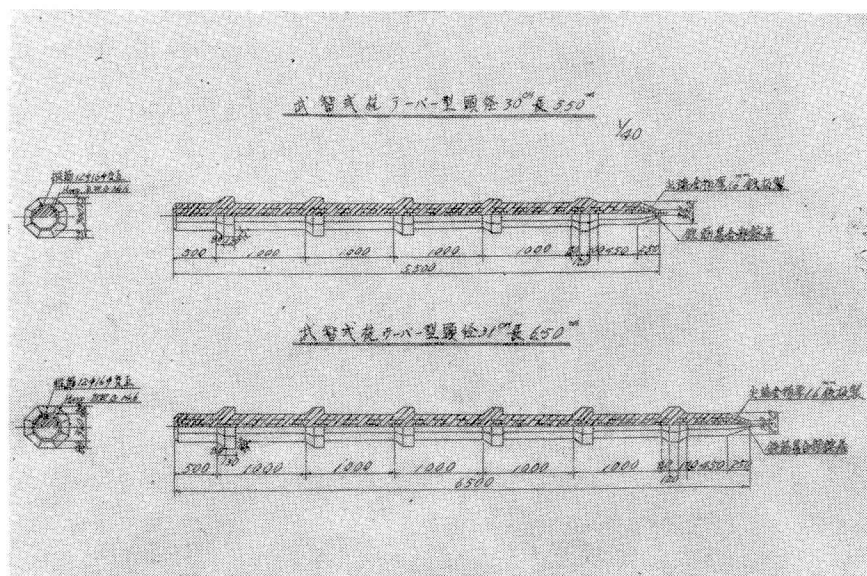
图—2



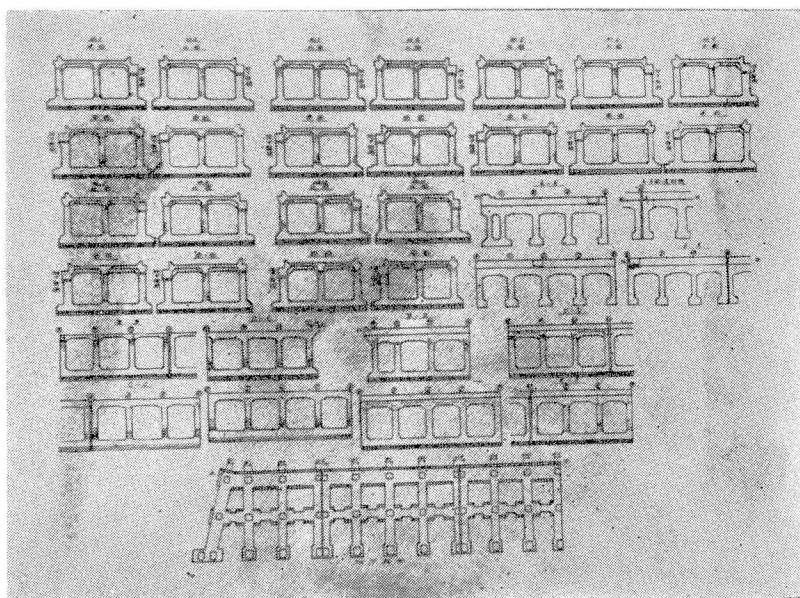
图—3



图—4



图—5



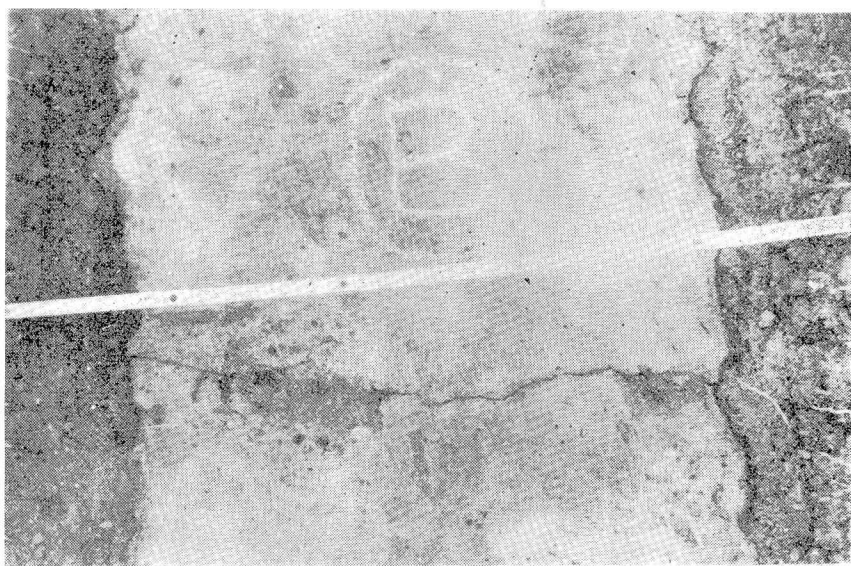
图—6



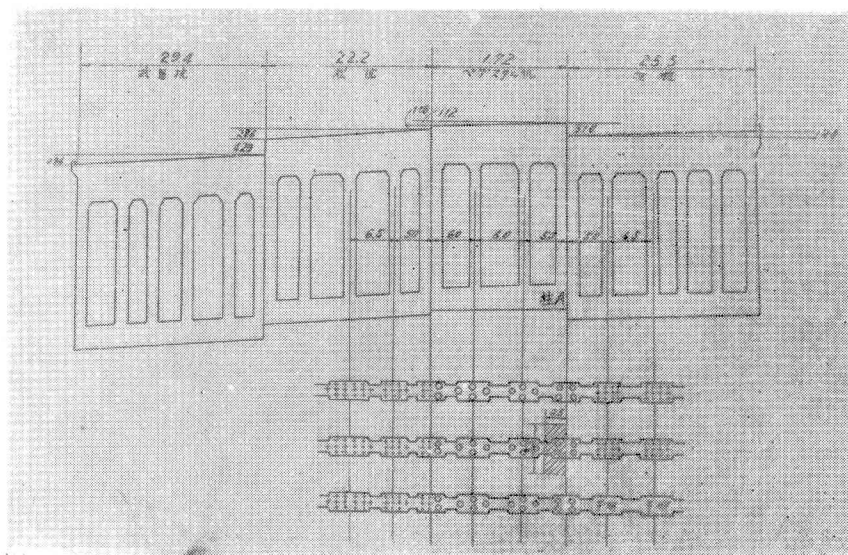
图—7



图—8



图—9



图—10

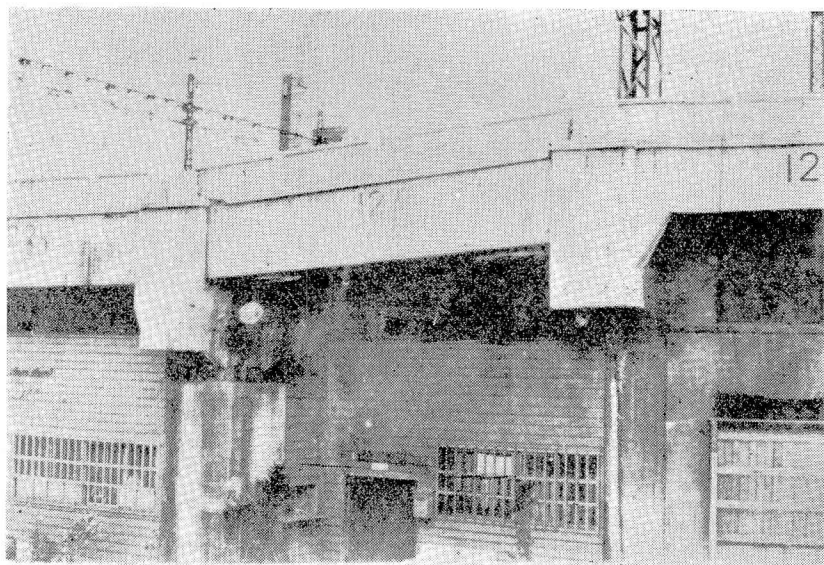
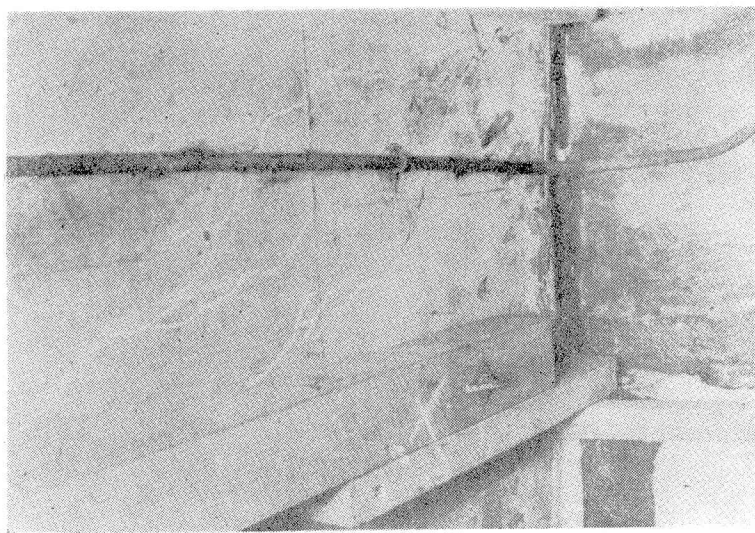


图 — 11



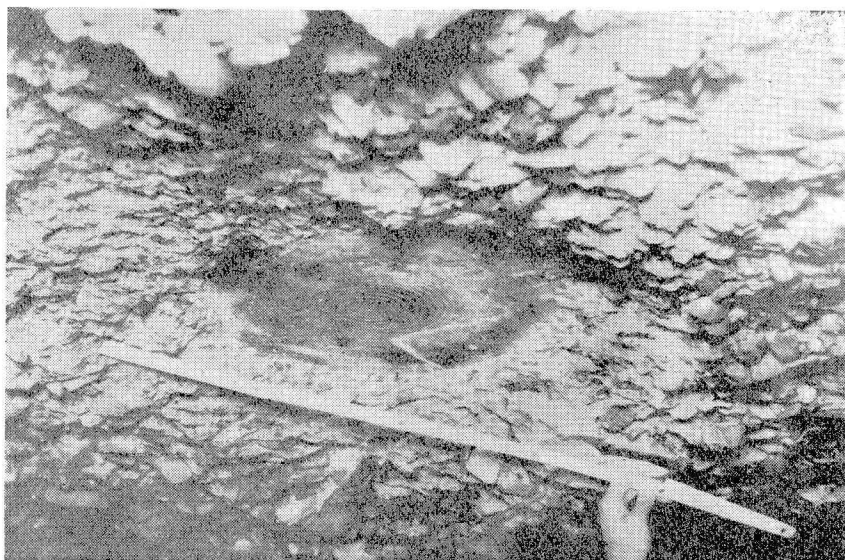
图 — 12



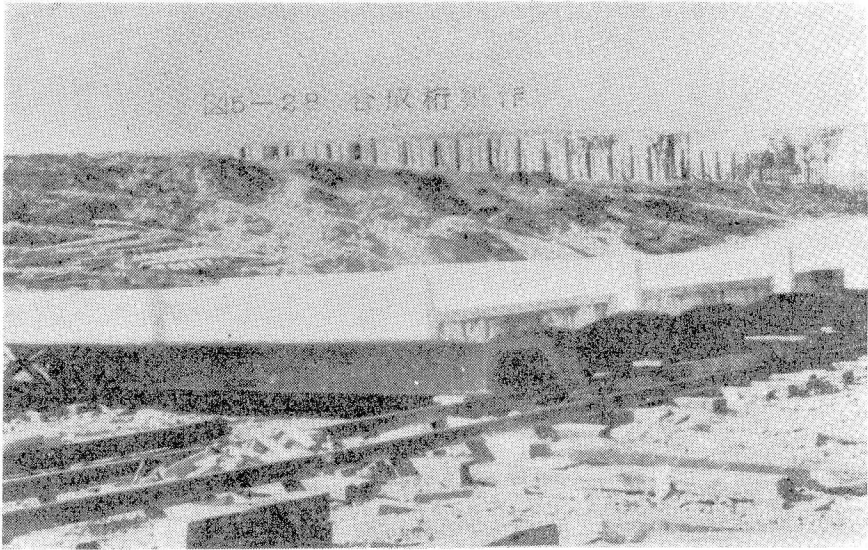
图—13



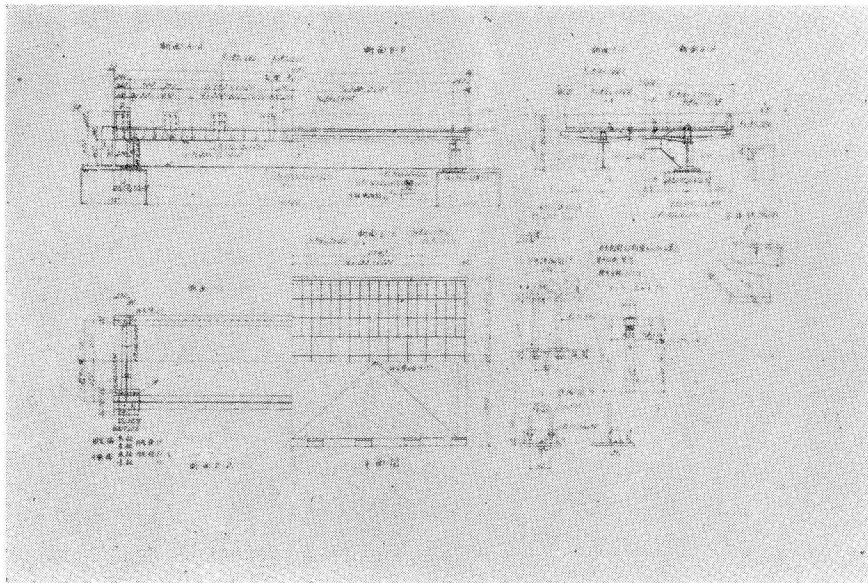
图—14



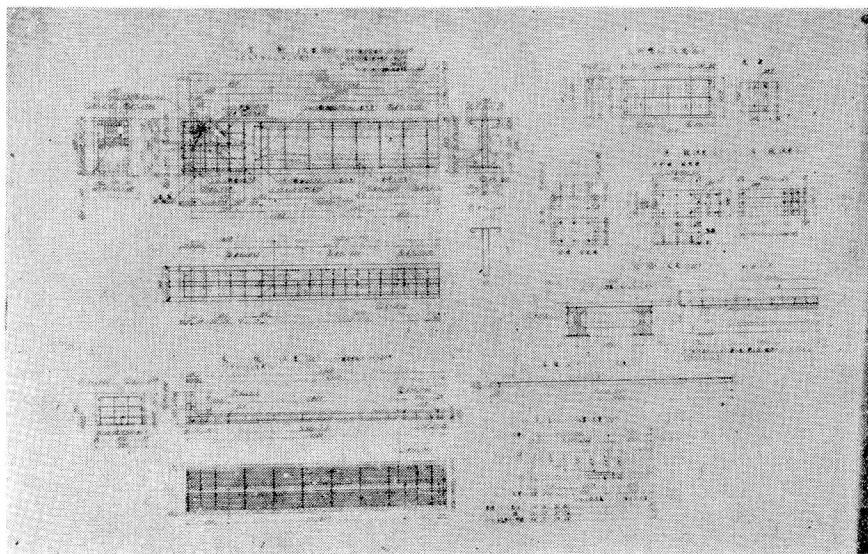
图—15



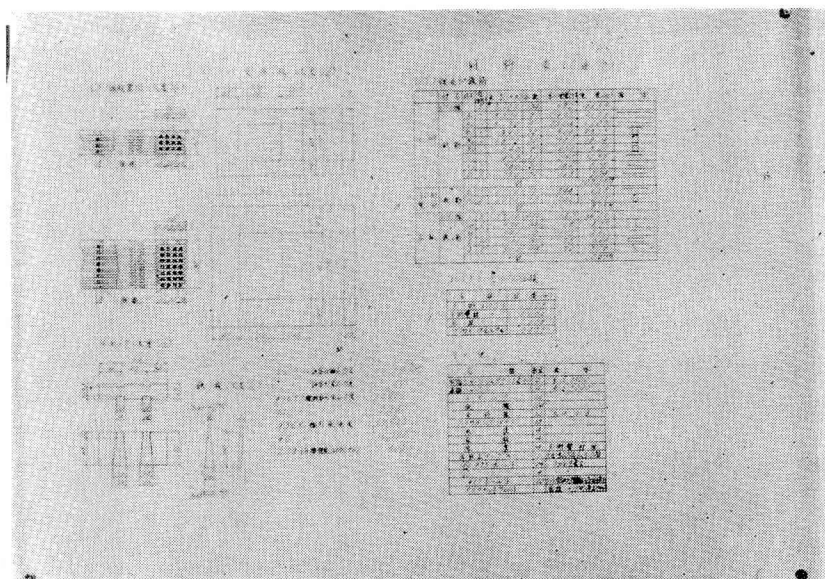
图—16



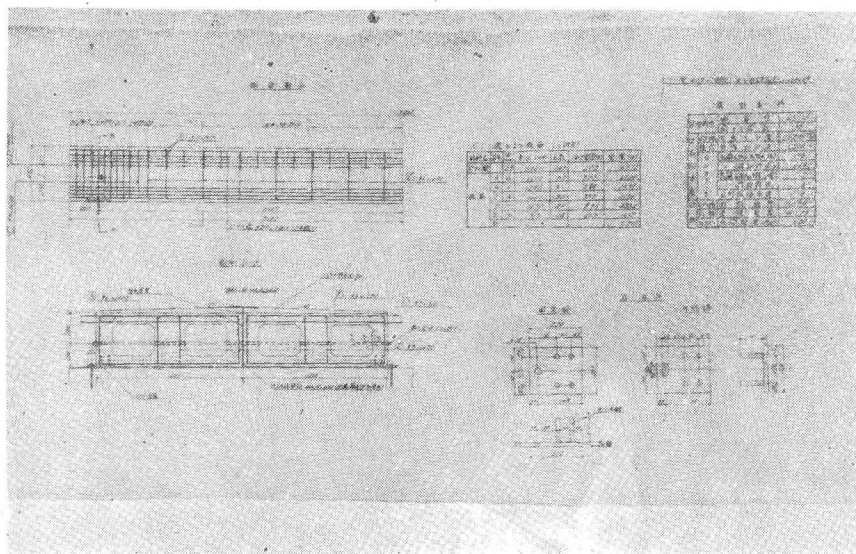
图—17



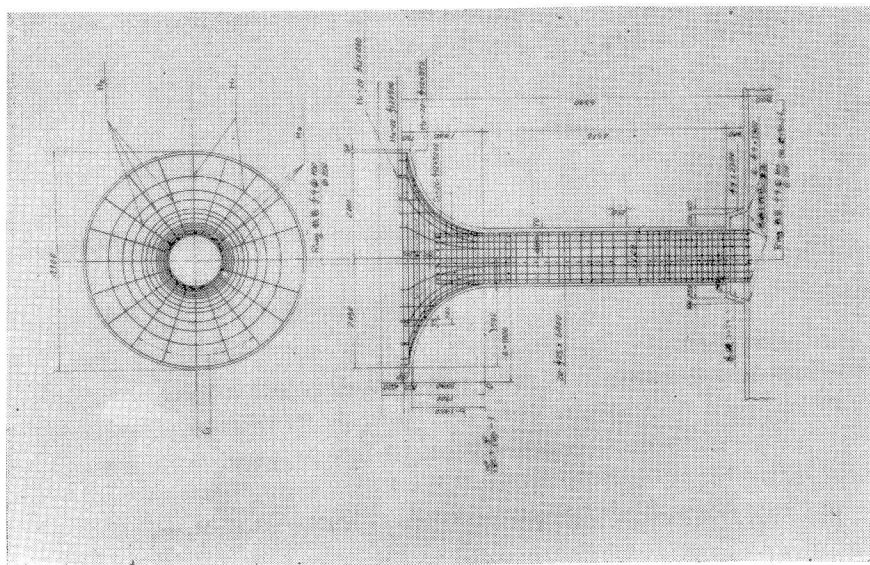
图—18



图—19



图—21



图—22

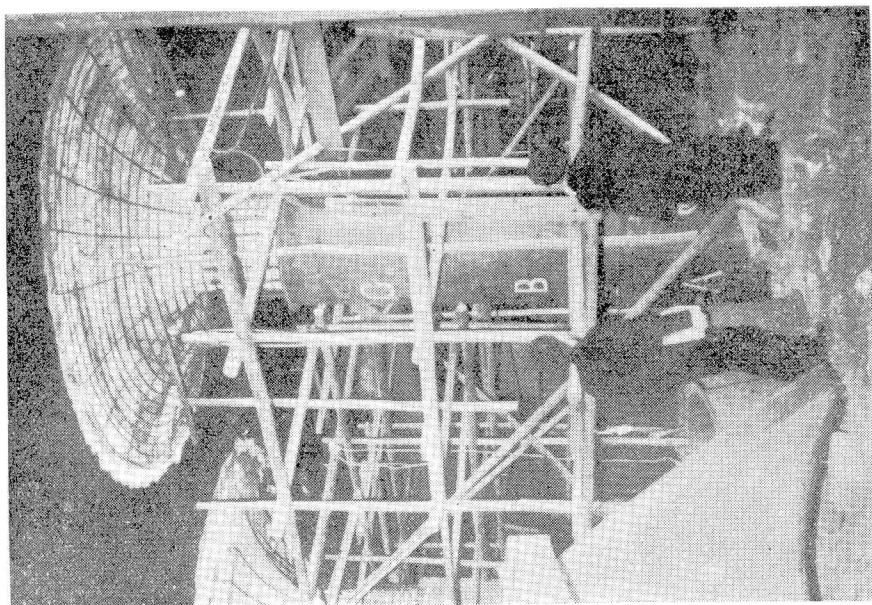


图 — 23

