

老朽化した工場建物の耐久性診断と補強工事の記録

Report on Investigation of Durability and Reinforcing Work, of Old Structure in Chemical Plant

小手川 邦博*
Kunihiro Kotegawa

石飛 清治**
Seiji Ishitobi

徳永 茂***
Shigeru Tokunaga

要 約

昭和初期に建設された鉄筋コンクリート造の工場建物を改修するに当たって、その耐久性の総合的な診断を、我社独自の既設建物診断システム—ROSEシステム—を用いて行った。

その結果、構造体の損傷度合が甚だしく、常識的には解体すべき建物と判断されたが、対象建物が工場の中でも重要な機能を果しているため、改修し、使用に耐えられるようにする必要があった。

補強対策は、コンクリート打増しによる柱、梁の断面補強、積載荷重低減のためのスラブ撤去、地震時の水平力を負担させる耐震壁の増設などを実施した。

目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 改修建物の概要
- § 3. 耐久性診断結果
- § 4. 補強対策
- § 5. 補強工事
- § 6. あとがき

§ 1. まえがき

—既存建物耐久性診断の一般的システムについて—

旭化成工業(株)延岡工場は、市内に大規模な6工場を持ち、それぞれの工場には多くの建物が建ち並んでいる。これらの建物の多くは工場の拡張や操業ラインの変更などにより新築或いは改築されたものであるが、中には昭和初期に建てられて現在も使われている鉄筋コンクリート造の建物もある。このような昔の建物はRC造建築物の耐用年数(60～70年)から考えて、未だ十分使用に耐えられるはずであるが、工場によっては大きな振動を発生する機械や化学薬品を使用するなど建物の耐久性に悪影響

を与える要因が多数存在しているため、通常の耐用年数が大幅に短縮されているケースがある。

こうした建物が構造物として安全であるか、また、再使用に十分耐えられるものかどうかの判断を企業先より度々要請されることがあり、今まで工場内の多くの建物について耐久性診断を実施してきた。こうした数多くの経験から得られた実績をもとに、我社独自の既設建物における耐久性診断と経済的手法による修復システムが確立された。これをROSEシステム—Recreation of Old Structures Existing, System—という。

省資源・省エネルギーが大きな課題となっている今日、これからの社会情勢を考えると老朽化した建物の修復や延命対策は、今後必然的に増えることが予想されるため、当システムは社会のニーズに対応したシステムといえよう。なお、このシステムは火害やガス爆発などを受けた建物についても、耐久性や安全性の評価を行う際に適用できるものである。

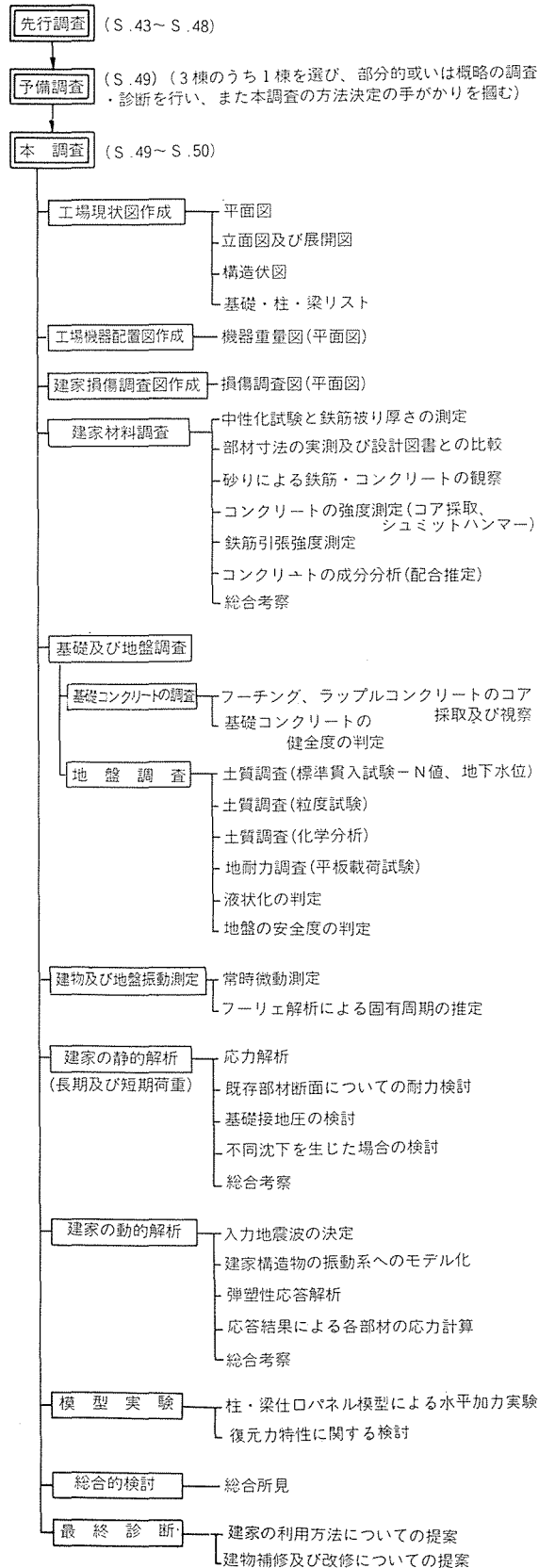
Table-1に当システムによって診断した旭化成工業(株)延岡工場のある建物におけるフローチャートを掲げる。

§ 2. 改修建物の概要

今回事例に取上げた改修建物は、昭和4～5年頃建設されたもので、昭和32年に研究施設の火災により内部は火害を受け、その後、事務所や倉庫として使われていた

*九州(支)延岡(出)
**九州(支)延岡(出)
***九州(支)延岡(出)

Table-1 既設コンクリート構造物の耐久性診断実施例
Typical example of investigation of durability



が、老朽化がひどいため現在では当該工場の配管施設を収納しているだけである。しかし、この建物には他工場へも通じる幹線ともいべき配管が多数布設されており、万一地震等で建物が崩壊した場合、他への影響も大きく、その損害は量り知れないものがあるため、企業先より構造物としての安全性評価を要請された。

建築的には解体して建替えた方がスムーズで得策かと思われたが、種々の事情により改修して再使用する方針が打出され、建物延命対策のためROSEシステムによる耐久性診断を実施することになった。

改修建物の概要をFig.-1に示す。

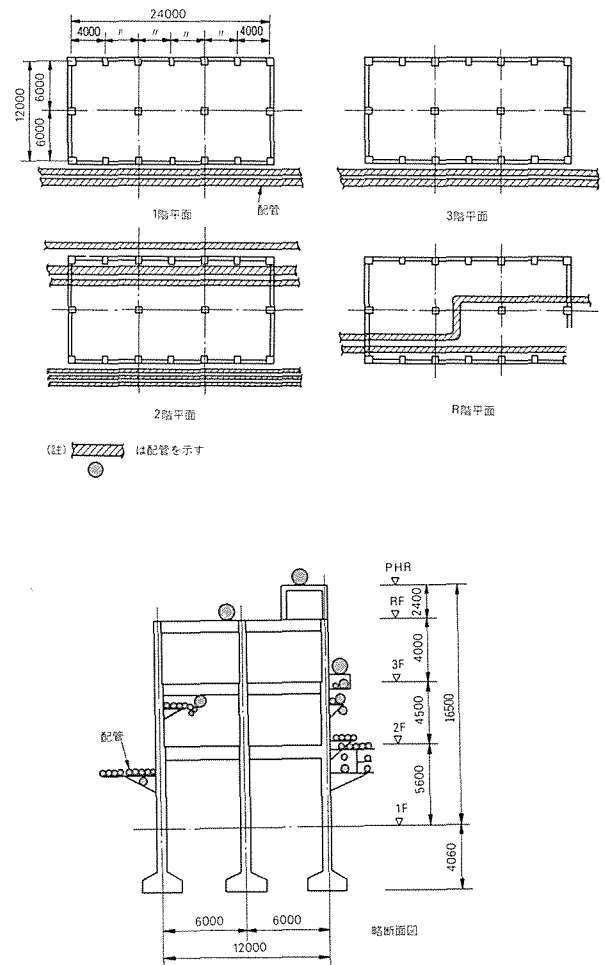


Fig-1 改修建物の概要
Outline of structure before repairing

§ 3. 耐久性診断結果

建物の診断結果をまとめると次のようになる。

3-1 外観損傷調査

建物外部は他の工場建家と比較しても、損傷度合はそ

れほど大差無い状態であったが、内部はコンクリートがはげ落ち、鉄筋は錆びて露出し、ひびわれは至る所で見られるなどかなりひどい損傷状態であった。また、大梁は機器設置のため一部切断した箇所や明らかに傾いた柱などが見受けられた。

コンクリートのひびわれは、せん断や曲げなどの亀裂と異なり、熱による細かい亀甲状の亀裂を呈していて、火害による損傷がかなりひどいことが一目で判断できる状況であった。

3-2 材料調査

材料調査は構造体であるコンクリート及び鉄筋について行った。その結果はおおよ次の通り。

(1) コンクリート

フェノールフタレイン液によるコンクリートの中性化深さの測定結果は、柱で最大35mm、梁で17.3mm、スラブで29.6mmであった。これらを経年換算した場合約200～300年経過したことになり、建物の経年実数と比べても甚だしく中性化が進行している。

シュミットハンマーによるコンクリートの推定圧縮強度は、柱で最小140kgf/cm²、梁で165kgf/cm²、スラブで110kgf/cm²であったが、コア採取による圧縮強度は240kgf/cm²以上の値が得られており、火害による局部的な強度低下がみられる。

(2) 鉄筋

鉄筋の引張強度は柱、梁などコンクリートの被りの深い部位では、降伏点及び破断時の強度ともJIS規格を満足する値であったが、スラブ、壁など被りの浅い部位の鉄筋は降伏点の強度が前者の2倍前後、破断時の強度は1.5倍以上もある反面、鉄筋の伸び率が10%以下という脆性の高い鉄筋となっている。

また、発錆による鉄筋の変化をみると、標準鉄筋と比較した場合直径では平均12.9%、最大18.5%の欠損率、また、重量では平均20.0%、最大25.9%の欠損率がある。

このほか地盤掘削により地中部分のコンクリートについても調査したが、コア採取による圧縮強度は185kgf/cm²の値が得られ、外観上でも損傷はみられなかった。

3-3 建物の現状図作成

当建物の原設計図は企業先に保管されていたが、竣工後かなりの年数が経過しており、増改築などによって変わっていることも予想されたので、地盤の掘削やコンクリートのやり出しなどを行って現状図を作成した。

実際に設計図との相違点も見つかり、特に図面では不明瞭な基礎、地中梁、杭などの箇所が判明し、今後の構造耐力の検討に役立った。

3-4 構造検討

今までの調査結果から、現状のままだでは大地震に対しての耐力不足が歴然としているため、実際の建物用途を想定し、各部材に生ずる応力がどの程度なのか、また、その差がどれくらいあるのかを数値的に捉える目的で構造検討を行うことにした。なお、検討に当たっての仮定条件として、材料強度は調査結果よりコンクリートの圧縮強度を $F_c=150\text{kgf/cm}^2$ 、鉄筋の引張強度をSR-24相当、建物は配管設備だけに使用し、他の積載荷重は無いものとした。構造検討は静的解析で行った。

ケース I

「現状のRC造3階建てのままで、地の積載荷重が無い場合」

地震時において、地中梁が無い場合1階柱頭部に大きな曲げモーメントが生じ、その他の部材も含めて全体的に許容耐力を大きく上回る応力が生ずる。このままでは危険と結論づけられる。

ケース II

「3階部分を取壊しRC造2階建てとする。更に地中梁、耐震壁を設け、床の仕上材が200mmもあるのでこれを斫り取る。積載荷重としては2階は事務所、R階は住宅程度とする。鉄筋は腐蝕を考慮して25φを19φとした場合」

この条件においても、部材の応力が許容耐力を上回る箇所がいくつか生じる。

以上のことから、当建物の構造耐力は材料の劣化が大きく、現状のままだでは危険な状態であることが数値的に判明した。

3-5 当建物に対する総合的考察

当建物を材料調査結果、構造検討結果から総合的に診断すると次のことがいえる。

鉄筋及びコンクリートの劣化程度が大きく、現有の材料強度は当初の強度よりかなり低下している。特に鉄筋については靱性が失われ、使用に耐えられる状態ではない。

構造的にみても、地震時に各部材に生じる応力が許容耐力を上回り、危険な状態にあって、建物としては既に寿命に達しており、再利用することは困難である。再利用を考える場合は、積載荷重をできるだけ低減し、柱の浮き上りや圧壊が生じない程度まで耐震壁の負担率を上げる措置を講ずるなど、耐震性能の向上に努める必要がある。

§ 4. 補強対策

現状のまま引き続き配管関係の建物として利用したいと

の企業先の意向により、構造的にはどの程度の補強対策が必要かを検討した。

構造計算は、柱、梁の中性化した部分のコンクリートは斫り取って新たに鉄筋を添わせ、コンクリートを打設することを前提にしたため、コンクリートの強度は新旧コンクリートの断面比がおおよそ6:4となることから、 $F_c = 180 \text{ kgf/cm}^2$ (新設コンクリート $F_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$; 既存コンクリート $F_c = 150 \text{ kgf/cm}^2$ とした場合の単純平均)、鉄筋は既存鉄筋を無視して新設だけを考えSD-30として算定する。

耐震壁はFig.-6に示したように設置し、地震時の水平力壁負担率を50%以上とする。

中柱は全断面有効とするが、外周廻りの壁付き柱は既存外壁を無視した断面とする。

積載荷重は配管設備のみを考慮し、できるだけ荷重を軽減させるために2、3階のスラブは撤去する。

地耐力は附近のボーリングデータより十分な値が期待できるなどの諸条件により解析した結果、次のような補強方法を決定した。

- (1) 柱、梁でコンクリートの中性化した部分は斫り取り鉄筋を配筋してコンクリートを打設する。
- (2) 柱、梁の交点は、中柱では柱、梁筋とも必ず通し筋とし、外周柱では柱筋のみ通し筋とする。通し筋が不可能な場合はケミカルアンカー等信頼のおける方法を採用する。
- (3) 地中梁を新設する。
- (4) 耐震壁を新設する。
- (5) R階を除いた2、3階のスラブは斫り取って撤去する。

これらの概要をFig.-2～Fig.-5に掲げる。

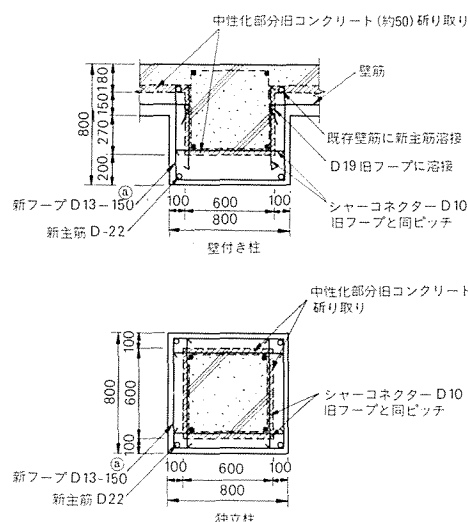


Fig-2 柱の補強
Reinforcing of column

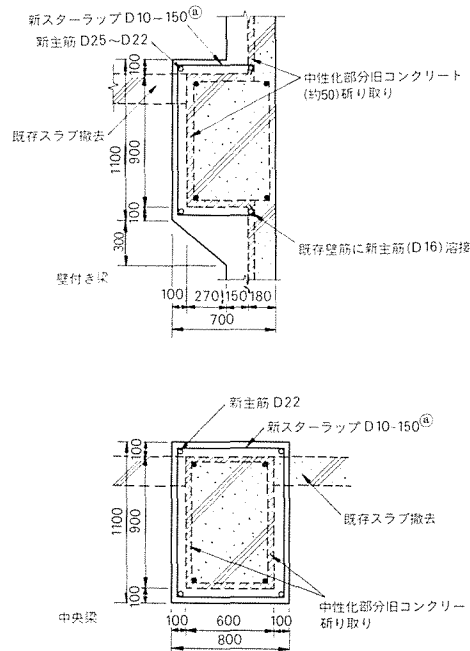


Fig-3 梁の補強
Reinforcing of girder

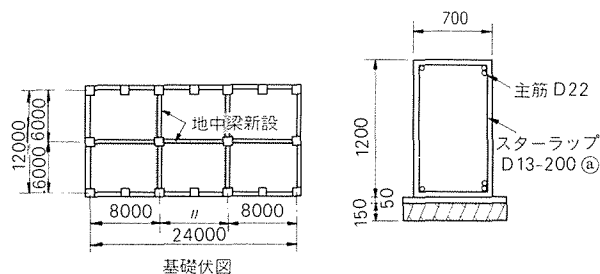
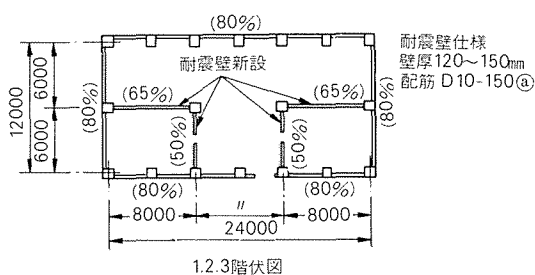


Fig-4 新設地中梁
New foundation girder



(註) () 内数字は水平力の壁負担率を示す

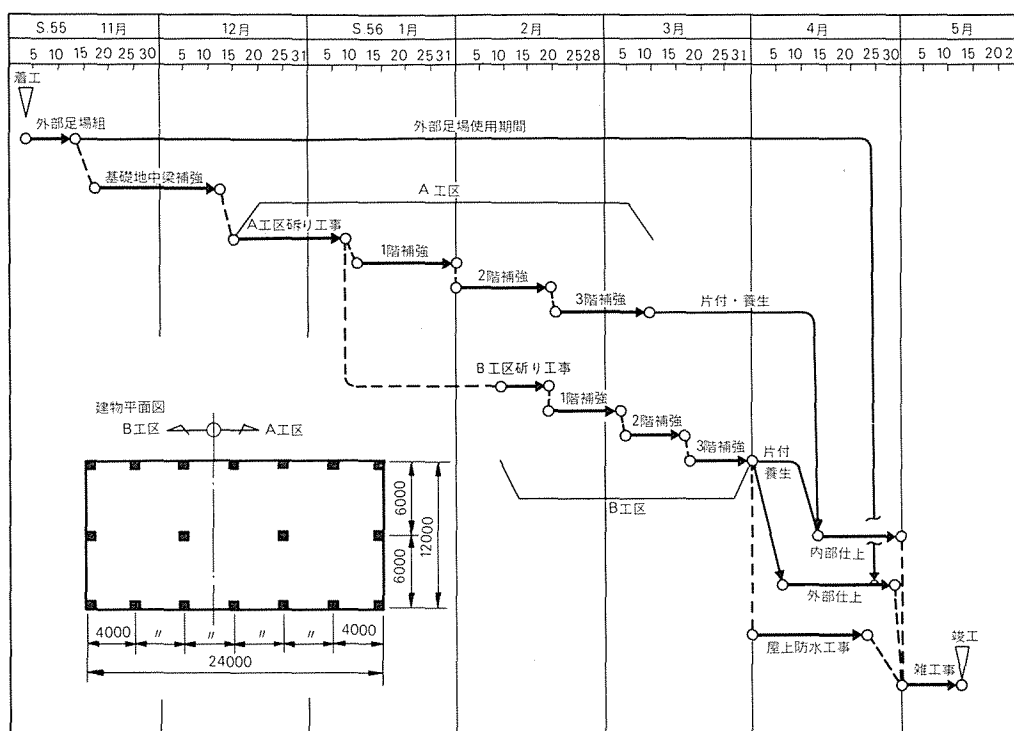
Fig-5 新設耐震壁
New quake resisting wall

§ 5. 補強工事

当建物の補強工事は約5ヶ月を費やした。Table-2に実施工程を掲げる。

なお、工事の途中で万一地震に遭遇した場合を考慮し

Table-2 補強工事工程表
Progress schedule of the work



て、できるだけ建物への影響を避けるために半分ずつ分けて補強工事を実施した。

以下に各工事の施工概要を述べる。

5-1 仮設工事

施工に先立ち、作業員全員に配管設備の重要性を十分認識させた上で作業を開始した。

足場は、配管を初めとする各種の障害物があるため、すべて単管を使用し足場板を敷並べた。外部には全面養生網を張り、配管の上部はベニヤ板で養生した。

材料の搬出入口として建物西面に1、2階は開口部を設け、3階は既存の窓を使用した。

その他緊急時の連絡用に、階段脇に電話を設置した。

5-2 斫り工事

斫り作業は基礎部分の工事が終了した後、先ずスラブ、小梁の撤去から始めた。作業順序は3階から2階へと進め、均等に斫り出すため1スパンずつ交互に行った。斫り屑は下階の床へ落すようにしたが、建物にできるだけ振動を与えないようにとの配慮から床上に古畳を敷詰めた。また、斫り屑の荷重がスラブに均等にかかるよう気を配った。2階に落した斫り屑は、スラブに穴を開けて更に1階へ落した。

スラブを斫る際の安全対策は、墜落防止のためフック状に加工したD16の異形鉄筋を柱にエポキシ系接着材で取付け、それに親ロープを張りめぐらし、安全帯を着用

させて作業を行った。

続いて柱、梁の中性化した部分の斫り出しを梁から柱の順に、下から上へと順次行った。当初、すべて既存の鉄筋まで斫り取る予定であったが、壁付き梁だけは作業の難かしさから中性化深さの50mm程度取除いただけとした。

梁の斫り出し作業において、梁側と梁底とで同レベルの作業床では作業性が悪くなるため、予め足場板を受ける単管を2段に組んでおき、梁側が終了した時点で足場板だけを降ろすように工夫した。

5-3 鉄筋工事

斫り工事のあと、壁付きの柱やR階の梁など鉄筋が通せない部分に、予めケミカルアンカー又はエポキシアンカーの打込みを行った。(Fig-6, 7 参照)

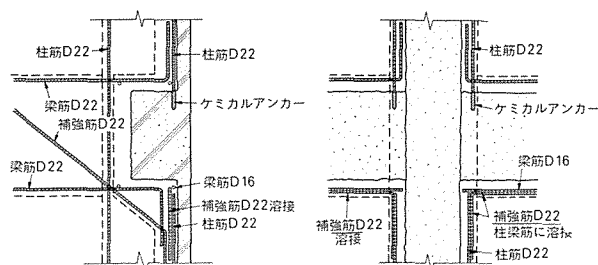


Fig-6 柱頭・柱脚の配筋状況
Bar arrangement of column

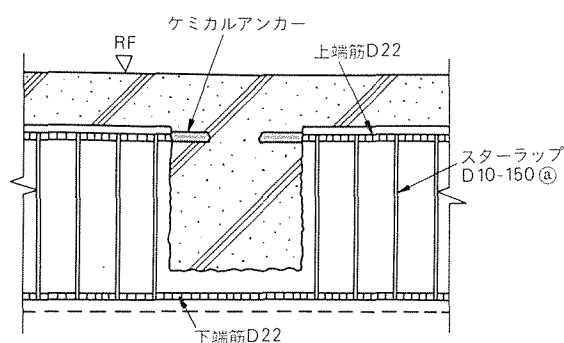


Fig-7 最上階梁の配筋状況
Bar arrangement of roof-floor girder

柱や梁で鉄筋のアンカー長さを十分にとれない個所には補強筋を入れた。

柱筋は補強のため、D19を用いて既存の柱筋と所々溶接した。

配筋で施工的に難しかったのは、R階梁においてスターラップのフックが主筋に掛りにくかったこと、主筋の継手個所が多く、ジョイントが思うようにできずに溶接で補強せざるを得なかったことであった。

5-4 型枠・コンクリート工事

型枠は壁付きの柱や梁の場合、周囲の壁にパイプアンカーを打込み、これにセパレーターをねじ込んでその周りを溶接し、型枠を組立てた。このパイプアンカーは、引張試験では平均3.3tf/本の強度があり、コンクリートの打設にも十分信頼できるものである。

壁付き以外の梁の場合、セパレーターは梁の上下2段に600～800mmピッチに設け、パイプアンカーを使用せずに型枠を組立てた。

型枠の組立て状況をFig-8に掲げる。

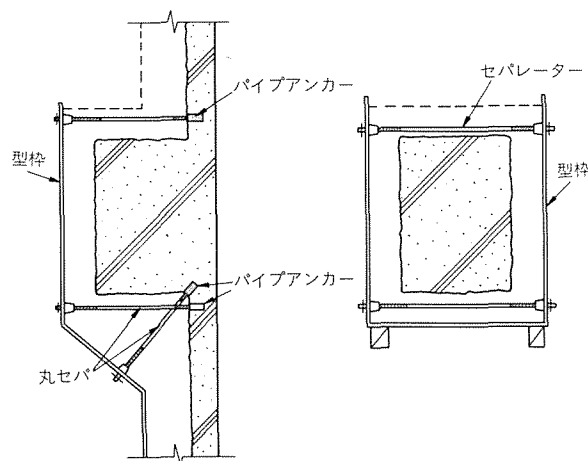


Fig-8 梁型枠組立図
Setting of girder form

型枠工事において、この建物が昭和初期に建てられたもののためか垂直方向の精度が悪く、R階から下げ振りを下げてみると上と下では最大100mm、平均60mmぐらいの倒れがあり、水糸を張ってセパレーターの長さを調整しながら型枠の建込みを行った。

コンクリートは、既存のコンクリートと型枠とのわずかな隙間に打設するため、隅々までコンクリートが廻ること、既存のコンクリートに十分密着させることに気を配り、事前に研り部分の水洗いやドライアウトを起さないための水撒き、また、打設中はバイブレータを万遍なくかけ、バイブレータが十分届かない個所は木製ハンマーで叩くなどジャンカの発生がないように努めた。その甲斐あってか全般的に打上りコンクリートは良好であった。

なお、R階梁のコンクリートは、スラブに小さな開口を数個所設け、そこからコンクリートを流し込んだが、連続的に打設することができず、思うようにコンクリートが行き渡らず苦勞した。

5-5 その他の工事

屋上防水の施工は既存のアスファルト防水層を剥がし撤去後、下地を十分水洗い清掃し、接着材入りモルタルにて下地を平滑に仕上げ、十分な乾燥期間を置いてゴムアスファルトシート（厚さ3.5mm）防水を行った。なお、パラペット立上りの端部は、アルミアングル押え金物を取付けた。屋上は配管のメンテナンスがあるため、防水層の上に押えコンクリートを打設した。

建物外壁は、全面モルタル塗仕上げが施してあったが、鉄筋の錆でモルタルだけでなくコンクリートまで浮いている個所も見られ、また、ひびわれのあるところはほとんどのモルタルが剝離していたため、錆の個所は鉄筋まで研り出して錆を落とし、モルタルの剝離個所は落して塗直した後、セメント系リシンを吹付けるなどの補修を行った。

§ 6. あとがき

改修工事の途中、地中梁のコンクリートを打設して2日後に震度Ⅲの地震があり、一瞬ヒヤリとさせられる場面もあったが幸い何事も起らず、無事に所期の目的にかなう建物が完成した。新規の外装吹付けや内部のコンクリート打放し仕上げは、着工前と比べてその様相を一変させ、新しい建物として蘇った感じがする。

旭化成工業(株)延岡工場は、我社と半世紀を越える永い関係があり、昔、施工した多くの建物の老朽化が進むにつれて、これらの耐久性診断と延命対策が課題となるが、この解決は我社の責務であり使命と考えている。そうし

た意味からも現地の施工部門と本社の設計部、技術研究部などの分野が一体となって対処し、更にレベルアップした技術を提供する必要がある。

最後に、当建物の補強工事遂行に当って、終始的確な御助言と御指示を頂いた旭エンジニアリング(株)安田係長及び中島技師に紙面を借りて厚く謝意を表する次第です。

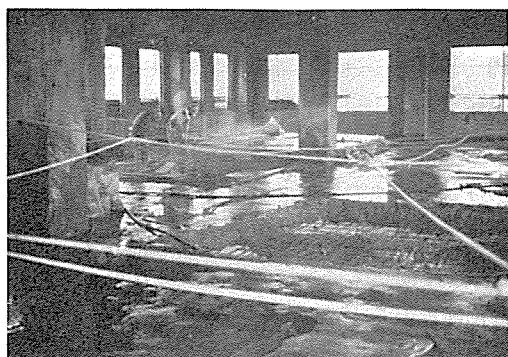


Photo-1 スラブの斫り作業
Breaking work of concrete slab

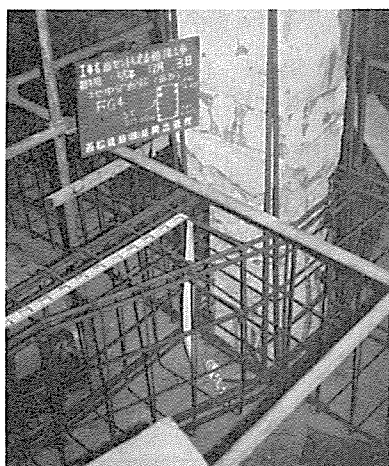


Photo-2 地中梁の配筋
Bar arrangement of foundation girder



Photo-3 梁の補強筋
Reinforcing bars of girder



Photo-4 柱の補強筋
Reinforcing bars of column



Photo-5 コンクリートの打上り状況
Architectural concrete finish of girder and column



Photo-6 補強改修後の建物全景
Appearance of the structure after reinforcing and repairing