

(10) 製鉄所における既存コークス炉関連R C構造物の耐震診断と補強対策について

○角田 義雄¹⁾ 飯田 幸弘²⁾ 西山 領³⁾ 武元 弘之⁴⁾ 工藤 秀次⁵⁾ 本江 克二⁶⁾

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造建物の耐震診断が行なわれ、各種補強方法なども提案され、実験も多数行なわれる様になってきた。しかし対象となっている建物はいずれも学校とか公会堂など一般的建物が多い。本報では特殊建築物として製鉄所のコークス炉関連鉄筋コンクリート構造物をとり上げた。

対象としたコークス炉関連の建家としては、石炭塔（コークス炉に入れる石炭を一時貯蔵するホッパーのある建家）、消火塔（赤熱コークスに散水し消火する建家）、および煙突である。近年、これらのコークス炉構造物は、竣工後15～25年程度経ていることから損傷が見られる様になってきている。また世の中でも東海地震の予測がされるなど、建物の耐震性の重要性が見直される様になり、これらの建物も総合的安全性の見地から、何らかの対策をほどこす必要性が生じてきた。

まず最初におもに外観目視を中心に損傷の程度を知るための予備調査を行なった。さらに現状把握、補強対策の正確さを期すための資料とする目的で、温度測定、中性化試験、および強度試験を行なった。これをもとに、全建家について「鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」に準拠して2次診断まで行ない、耐震性の小さいものについては、耐震指標(1s)が0.6以上になるように補強対策を立案した。

本報では、今回行った一連の検討項目のうち、以下に示す様に、老朽化調査、各建家の耐震診断とその補強対策についての一提案として述べるものである。

2. 老朽化調査

老朽化調査は、予備調査を行った結果、最も代表的なAおよびD号コークス炉を選び以下に示す調査を行なった。

2-1 温度測定

コークス炉本体に近い部分のコンクリートは、炉体からの熱のためかなりの温度になっていることが予想される。このことは、補修に使用する材料の選定、施工条件などにかかなり影響を与えると思われる。このことより、コークス炉体に近いコンクリートの温度測定を行なった。

測定は、熱電対を使用し自記記録式温度計により自動的に行ったが、AおよびD号コークス炉もほぼ同じ傾向を示しているので、ここではA号コークス炉について述べる。

測定点は、図1に示すように15点を取り1時間ごとに記録し96時間にわたって計測した。測定した15点のうち代表部分の温度変化を表1に示す。これから温度変化は外気温(千葉市内温度)とは無関係であり、炉の運転状況により変化することが分る。最も高い温度は、炉体に接する部分で83.1℃を示しているが、この部分は補強しない部分である。補強する部分は、おおむね30℃

～45℃の範囲にあり、補強材料、および施工に当っては問題がないと思われる。

2-2 コンクリートの強度測定

コンクリートの強度測定は、建物より採取したコアによる圧縮強度試験と、シュミットハンマーによる非破壊試験の2通りとした。両者の圧縮強度の値は、若干異なっているが傾向として同じであった。コアの採取は、A号炉10個、D号炉12個行った。試験結果はA号炉で171～295MPa(平均220MPa)、D号炉で113～281MPaとなっている。D号炉で基準強度より低い部分が2箇所あったが同時に打設された近くの測定では180MPa以上あり、局所的に豆板、キレット等で低い値を示したと思われる。建物各部でばらつきがあるが、建物全体としては、設計基準強度の180MPaが確保されていると思われる。

2-3 コンクリートの中性化試験

中性化が鉄筋位置まで進行すると、鉄筋は錆び始め、腐食膨張を繰越し、キレットの増大、そして最終的には、被りコンクリートの剝落を起こす。したがって、中性化試験はコンクリートの耐久性を調査する上で非常に重要であり、コンクリートの老朽化の目安として取り上げた。

試験は、図-2に示す様にフェノールフタレイン溶液をコンクリート面に噴霧してコンクリートが着色するかどうかを調べる方法で、着色した位置でのコンクリートの深さを求め、これを中性化深さとした。

表2に代表的としてD号炉の中性化試験結果を示す。結果は、炉底及び1階など屋内部分には、豆板、キレットなどのある部分を除けば、中性化されていない。しかし、2階部分など外気にさらされているところは、中性化されており、2号炉で最大2.5cm、2号炉で最大3.5cmを示しており、一般の建物より中性化が早く進行している。

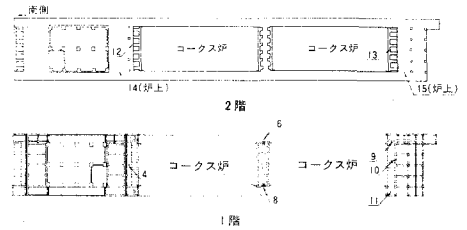


図1. A号炉温度測定位置図

表1. A号炉主要個所の温度変化

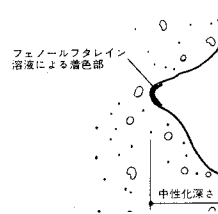
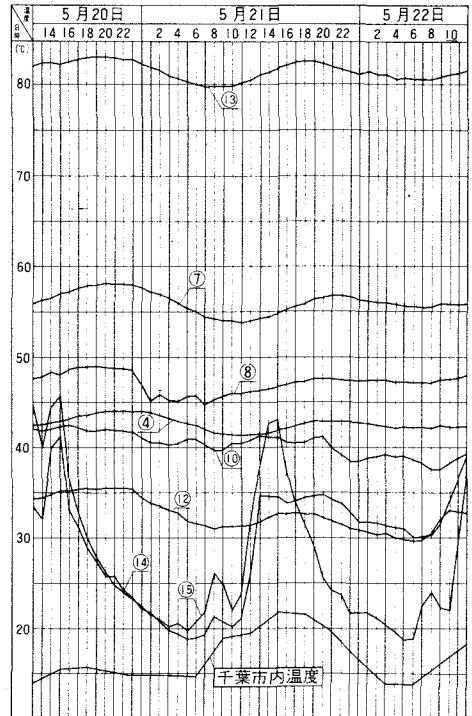


図2. 中性化深さの測定方法

表2. D号炉中性化試験結果

測点位置	中性化深さ t cm	備考
1階 柱	0	ブラケット
" "	0	中間デッキ
" "	0.1	北側デッキ
" "	0.2	"
2階 "	3.0	"
" "	0.5	中間デッキ
" "	0.5	"
" "	3.5	"
" "	1.3	貯炭槽
" 東壁	0	貯炭槽
" 西壁	0.5	"
加土 東壁	2.0	"
" 西壁	2.0	"

3. 石炭塔の補強対策

3-1 建物概要

ここで報告する石炭塔は、診断および補強対策を行なった3塔のうちA塔で、昭和34年に建設され23年経過している建物である。図3・写1に示すように上部に貯炭槽（容量1500tで常時80%程度貯蔵されている）がある。建物の3階（装炭車レベル）は、軌道上を走行する装炭車のために吹抜け（写2参照）になっており、これより下の階には、これらに付属する電気室・休憩室・事務室がある。石炭は、屋外ストックヤードよりベルトコンベアーによって石炭塔上部の貯炭槽に一時ストックされ、随時軌道を走行する装炭車でコークス炉まで運搬装入し乾留されてコークスになる。

上部貯炭槽廻りは、外内壁とも厚さ40cm以上の壁で囲まれており、剛として取扱って良い位剛性がある。3階（装炭車レベル）のX方向は全て耐震壁架構でありY方向では、1スパンの純ラーメン架構となっているので方向によって剛性が異なる形式になっている。

1階および2階は、X方向に連窓の開口部（このために h/D が1.8となり短柱になる）になっているラーメン架構、Y方向には、適度に配置された耐震壁を有するラーメン架構である。この建物は、剛性および変形性能が階および方向によって差が生じ、さらに1階の総重量の約20%の貯炭槽が上部にあることで重心が高いなど一般の建物と異なった形態をしている。

3-2 建物現況

建物規模 地上5階・塔屋1階

主体構造 鉄筋コンクリート造

基礎 既製コンクリート杭・布基礎

仕上概要 屋根：防水モルタル

外壁・柱：コンクリート打放し

使用材料 コンクリート：F_c = 150 N/mm^2

鉄筋：S R 24

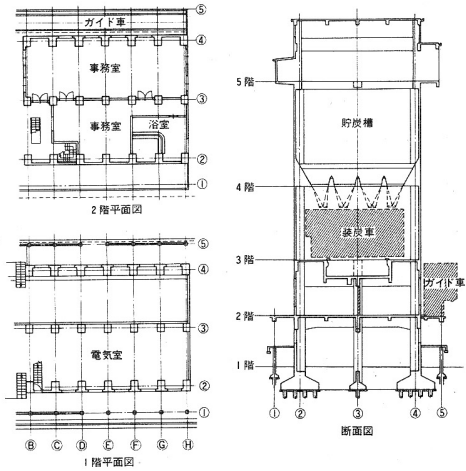
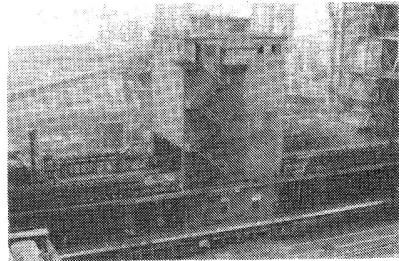
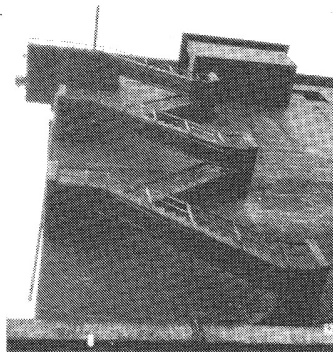


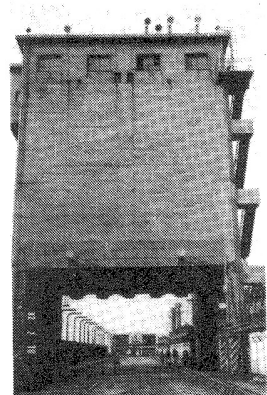
図3. 石炭塔平面、立面図



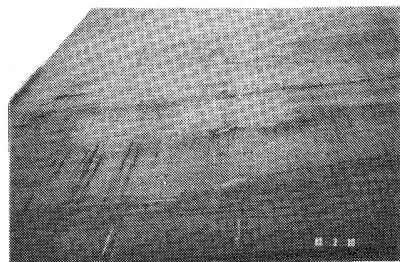
写1. 石炭塔全景



写3. 石炭塔外部階段



写2. 石炭塔全景（装炭車レベルより）



写4. 石炭塔外壁の老朽度

建物の老朽度は、外壁では写4に示すように、風雨にさらされることで鉄筋の錆によるコンクリートの剥離している個所が所々ある。

2次診断を行なう指標として、形状指標(SD)は0.25、経年指標(T)には現場調査にもとづいて0.97の値を用いた。補強前の診断結果を表3に示す。表3からX方向の1・2階で $I_s = 0.28$ 、Y方向の3階で $I_s = 0.36 \sim 0.34$ とかなり低い値となっている。

3-3 補強対策

補強前の診断結果より下記に示す補強対策案を立案した。

●X方向：連窓開口部を閉ぐことで短柱をなくす。まだ耐力不足なので既設の内側に壁を増打つ。

●Y方向：3階(装炭車レベル)の柱は、内側に装炭車、外側にコークガイド車の建築限界があるために、図4に示すように柱成まで壁を増打ち鉛直耐力、曲げ耐力の増加を図る。この場合、これと見合う上下の梁の耐力が必要であるが、上部の貯炭槽の外壁および仕切壁下部にはピットのために大きな梁があるので、柱の補強だけで済む。

図4～5に各階の補強方法、および既設との取合いを示す。補強後の診断結果を表4に示す。

3-4 まとめ

表4よりいずれの階も耐震性能指標(I_s)値は0.6程度あり、設定した耐震性能を補強によって得られる。しかし耐震性能は、既設コンクリートと増打部との取合いの良否で左右されるので、施工に際し十分このことを配慮する必要がある。

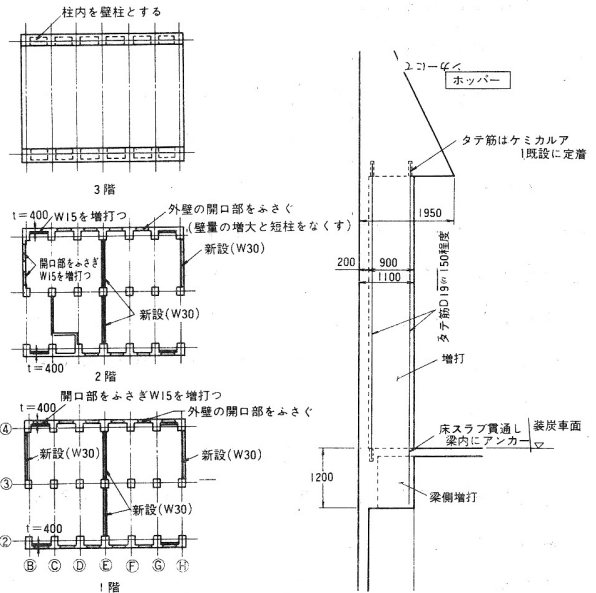


図5. 石炭塔壁柱の納り図

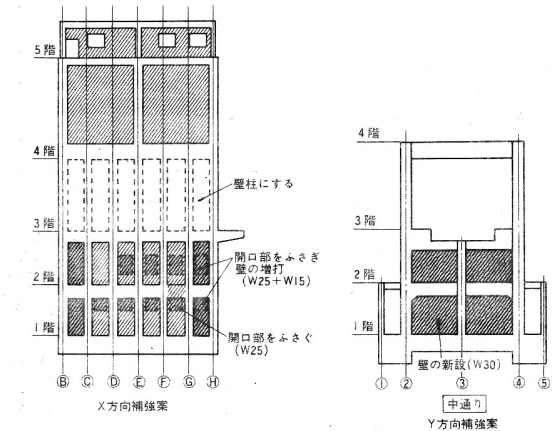


図4. 石炭塔各階補強方法

表3. 石炭塔補強前の2次診断表

X-DIRECTION											
FL	C	F	TYPE	EO	G	SD	T	I			
5	2.22	1.00	MW	SC	1.37	1.00	0.95	0.97	1.27		
5	0.10	2.71									
4	3.76	1.00		SW	2.50	1.00	0.95	0.97	2.31		
3	0.88	1.00		SW	0.66	1.00	0.95	0.97	0.61		
2	0.33	1.00	MW	SC	MC	0.30	1.00	0.95	0.97	0.28	
2	0.03	3.20									
1	0.34	0.80		BC							
1	0.02	2.00		MW	SC	MC	0.30	1.00	0.95	0.97	0.28
1	0.05	3.20									

Y-DIRECTION										
FL	C	F	TYPE	EO	G	SD	T	I		
5	0.81	1.00	MW	SC	MC	0.51	1.00	0.95	0.97	0.4
5	0.96	3.20								
4	4.01	1.52		MW	4.07	1.00	0.95	0.97	3.7	
3	0.33	1.56		MC	0.38	1.00	0.95	0.97	0.3	
2	0.31	1.00		SC						
2	0.01	2.71		MW	MC	0.39	1.00	0.95	0.97	0.28
1	0.18	1.27		MC						
1	0.01	3.20		SC						
1	0.38	0.80		MC	0.37	1.00	0.95	0.97	0.3	
1	0.01	2.71								

表4. 石炭塔補強後の2次診断表

X-DIRECTION									
FL	C	F	TYPE	EO	G	SD	T	I _s	
5	0.22	1.00	MW	SC	1.38	1.00	0.95	0.97	1.27
5	0.10	2.71	MC	SC	1.38	1.00	0.95	0.97	1.27
4	3.72	1.00	SW		2.48	1.00	0.95	0.97	2.29
3	1.42	1.00	SW		1.07	1.00	0.95	0.97	0.99
2	0.71	1.00	SW	WC	0.62	1.00	0.95	0.97	0.58
2	0.03	3.20	MC	SC	0.60	1.00	0.95	0.97	0.43
1	0.61	1.00	SW	MC	0.65	1.00	0.95	0.97	0.60
1	0.04	3.20	MC	SC	0.65	1.00	0.95	0.97	0.60

4. 消火塔の補強対策

4-1 建物概要

ここで報告する消火塔は、診断および補強対策を行なった3塔のうちC塔で昭和37年に建設され19年経過している建物である。図6・写5から分るように上部に4角い厚さ20cm～25cmの壁に囲まれた煙突部があり、下部へ四角錐に広がり1階で12本のT字形柱で支持されている。コークス炉で乾留された石炭は、ここで上部煙突部脚部デッキ上に貯えられた水（水槽38t×2台）をかけることによって冷される。かけられた水は、その熱によって水蒸気になり煙突内部を経て大気中に放出される。近年この方法からCDQ（コークス乾式消火設備）に変わりつつある。この消火塔は、数年使用するだけで済むことから石炭塔より、耐震性能ランクを下げて耐震指標（ I_s ）値0.5を目標に補強案を考える。

構造形式は、大きく分けて2階以上の箱形構造の煙突部と、1階のラーメン架構との2つになる。

4-2 建物現況

建物規模 地上2階+煙突部（ $H=14\text{m}$ ）

主体構造 鉄筋コンクリート造

建設時期 昭和37年 築19年

仕上概要 煙突部：コンクリート打放し

壁・柱・梁：コンクリート打放し

使用材料 コンクリート： $F_c=180\text{MPa}$

鉄筋：SR24

建物の老朽度は、現場調査の結果以下の通りである。

- 2階の煙突内部のラーメン架構となっている梁は、写8から分るように下端主筋およびスターラップの錆によって、鉄筋より外側のコンクリートが剥落し主筋が露出している。またスターラップは錆落ちてなくなっている。
- 1階のT字形柱は、各柱とも特に柱脚部で豆板および雨水によって鉄筋が露出する位老朽化が進んでいる。全体としての老朽化は、前述の石炭塔より悪条件（水を多量に使う）のために進んでいると言える。

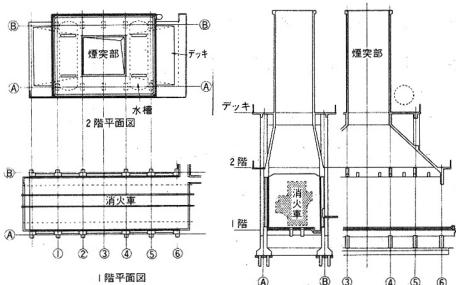
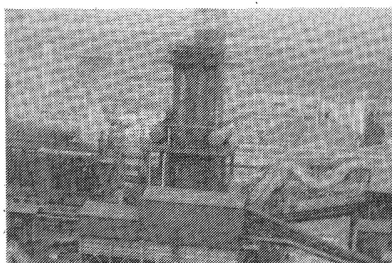
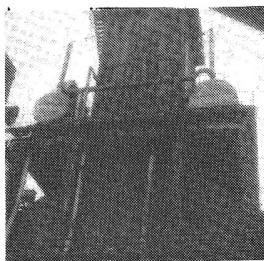


図6 消火塔平面図、断面図



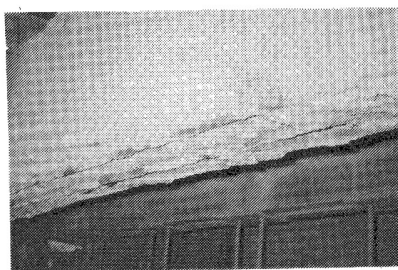
写5 消火塔全景



写6 消火塔柱の老朽度(1)



写7 消火塔柱の老朽度(2)



写8 消火塔煙突内部の梁の老朽度

4-3 補強対策

現場調査および補強前の耐震診断（表5参照）より下記に示す補強案を考えた。

●1階のT字形柱は、全体的に老朽化しているので図7に示すように、曲げ耐力および鉛直耐力を均一に増加させさらに後で述べる煙突部の鉄骨補強材の定着にも利用するために、全部の柱の全長にT字柱の外側に55cmの増打ちを行なう。X方向は、その効果が少ないために4ヶ所に耐震壁を設け、この壁筋は増打柱梁に定着させる。Y方向は、老朽化の激しい煙突内部の梁を計算上無視する。このために柱のクリアースパンが大きくなる②～⑤通りのうち②⑤通りに耐震壁を設け効率を上げる。計算に用いたY方向の架構モデルは図8に示す。

●上部煙突部の耐震性は、検討の結果、脚部の曲げ耐力で決定する。この脚部の曲げ耐力を増す方法として、図9に示すように①脚部をRCで根巻きする。②鉄骨造で補強する2案を考えたが、施工性および補強のための荷重増から②の方法とした。図10に詳細を示す。

4-4 まとめ

表6から1階および煙突部も耐震指標（ I_s ）値は、0.5以上あり、設定した耐震性能を補強によって得られる。

建物としての耐力は得られたが、階段等2次部材および錆によって老朽化している壁などは、早急に老朽化の進行を遅らす補修も併せて行なう必要がある。

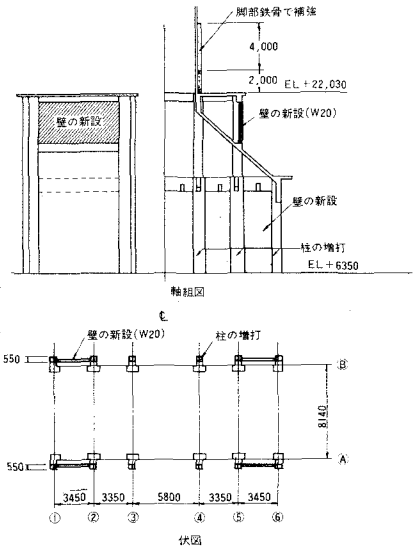


図7. 消火塔補強方法

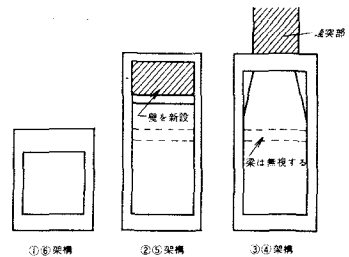


図8. 消火塔Y方向架構図

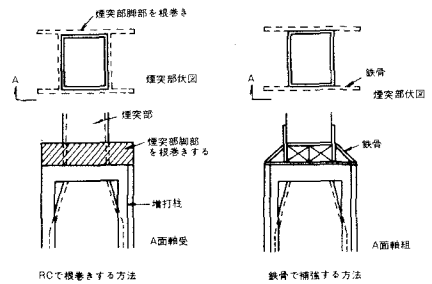


図9. 消火塔上部補強方法

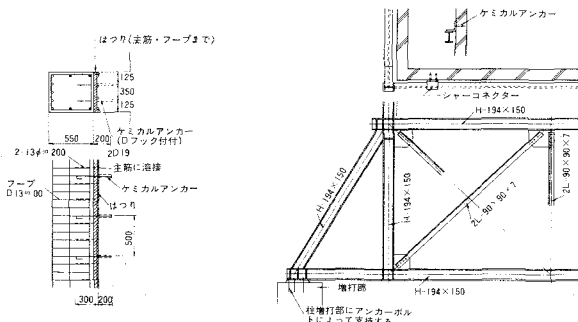


図11. 増打柱の既設との取合

図10. 鉄骨補強案の詳細

表5. 消火塔補強前の2次診断表

階	X方向							
	C	F	アイ	ブ	RC	G	SD	T
1	0.27	3.2			MC	0.48	1.00	0.95

階	Y方向							
	C	F	アイ	ブ	RC	G	SD	T
1	0.31	3.20			MC	1.00	1.00	0.95

注1. 煙突部は下計算により算出
注2. 煙突内部の梁を有効として算出

表6. 消火塔補強後の2次診断表

階	X方向							
	C	F	アイ	ブ	RC	G	SD	T
1	0.35	2.0			MC	0.87	1.00	0.95

階	Y方向							
	C	F	アイ	ブ	RC	G	SD	T
1	0.29	3.2			MC	0.91	1.00	0.95

注1. 煙突部は下計算により算出
注2. 煙突内部の梁を無視する

5. 煙突の補強対策

ここで報告する煙突は、診断および補強対策を行なった2本のうちC号炉用のもので、昭和37年に建設され20年経過しているものである。使用材料は、コンクリート $F_c = 135$ ㏩、鉄筋 S R 24 である。

●強度：設計は震度0.3で行なわれている。図12に建築基準法による値、鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針（以後指針と略す）による値、振動解析による値、および設計曲げ耐力を比較し表わしたものである。この図から、現在の設計法（基準法震度0.3と指針の地動200㏩）に対して脚部および杭については余裕があるが、中央より上部については大きく下回っていることが分る。一方、2つの地震波だけではあるが振動解析で250㏩に対して、安全であるという結果でもある。

●老朽化：老朽化の目安としてコンクリートの中性化の進行速度で考える。打継部で、20年経ていることや、製鉄所という特殊な環境にあることから、写9に示すように鉄筋面まで達している所もある。このように中性化の進展程度を加味した煙突の曲げ耐力は、求めた耐力を80%に減じた値とする。

●補強対策：補強は、現在の設計法（前述）に満足しない範囲とする。補強方法は、①コンクリートで増打つ、②鋼製プレートによって巻く、2つの方法が考えられるが、施工性および補強による荷重増のために重量分布が不均一になることから②の方法とした。

●まとめ：この方法の補強対策を行なうことで、老朽化を加味しても現在建てられている煙突程度の耐震性能を得られる。

おわりに

以上コークス炉関連RC造構造物の補強対策について述べてきたが、このような特殊な形態および環境にある建家の設計には、建物の使用期間を設定することが重要になってくる。又、外部に面する部分の老朽化（ここでは述べなかったが、階段、手すり等外部にある2次部材も含めて）が、一般の建物に比べて予想以上に早いことにも留意する必要がある。

謝辞

建物の提供をいただき、また中心となって調査を指導していただいた川鉄化学㈱の皆さま、予備調査から本調査まで、行なっていただいた俵銭高組、化工建設㈱の皆さまに、深く感謝いたします。

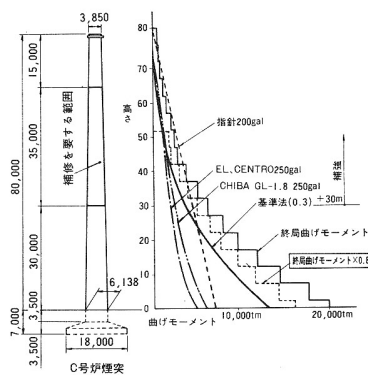
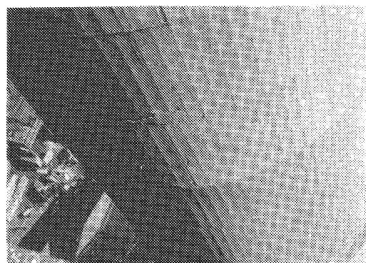


図12 C号炉煙突の耐力図



写9 煙突打継部の老朽度

1) 日建設計構造部

2) 同 構造設計主管

3) 川崎製鉄㈱千葉製鉄所土建部長

4) 同 建築課長

5) 同 建築掛長

6) 同 課員

THE ASEISMATIC ASSESSMENT AND THE METHOD OF REINFORCEMENT
OF THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
CONCERNED WITH THE EXISTING COKE OVEN
IN IRON-WORKS

by Yukihiro IIDA*, Yoshio TSUNODA*, Satoru NISHIYAMA**,
Hiroyuki TAKEMOTO**, Hidetsugu KUDO** and Katsuji HONGO**

This paper states about the investigation of superannuation, the aseismatic assessment and the method of reinforcement of the buildings mentioned in the title.

The buildings examined are a coal tower (i.e. a building with a hopper in which coal to be put into the coke oven is temporarily stored), a quenching tower (i.e. a building in which coal in red heat is sprinkled with water) and a chimney.

These buildings are located in particular surroundings; iron-works and they are about twenty-five years old. They are different from ordinary buildings.

This paper consists of the followings;

1. the measurement of temperature, the examination of concrete strength and the examination of superannuation such as neutralization tests
2. the aseismatic assessment and the method of reinforcement .

* Structural Department, Nikken Sekkei Ltd

** Civil Engineering and Construction Department, Chiba Works,
Kawasaki Steel Corporation