

# 報告 佐賀関第一大煙突解体コンクリートによるサンプリング調査

竹内 博幸<sup>\*1</sup>・荒金 孝行<sup>\*2</sup>・西 毅<sup>\*2</sup>・内田 直利<sup>\*3</sup>

要旨：竣工時（1916年）高さ167.63mと世界一を誇った「佐賀関第一大煙突」<sup>1)</sup>解体工事にあたり、100年近く経過した鉄筋コンクリート構造物が、厳しい環境下に長期間置かれた結果、どの程度の劣化状態にあるか、また、コンクリート、鉄筋がどのような状態にあるのか、それは現在の鉄筋コンクリート構造物と比較してどのように違っているのか、などを調査する目的で、解体片からのサンプリングによるコンクリートおよび鉄筋に関する各種の関連試験を行った。その結果、コンクリートの圧縮強度はばらつきがあるものの、概ね30N/mm<sup>2</sup>前後であり、鉄筋の腐食もそれほど見られず、強度性状も現在の鉄筋に近い状態であった。

キーワード：煙突、鉄筋コンクリート造、1916年竣工、塩化物量、鉄筋腐食

## 1. はじめに

「佐賀関第一大煙突」解体工事にあたり、100年近く経過した鉄筋コンクリート構造物が、厳しい環境下に長期間置かれた結果、どの程度の劣化状態にあるのか、コンクリート、鉄筋がどのような状態にあるのか、それは現在のそれらと比較してどのように違っているのか、などを調査する目的で、解体片からのサンプリングによるコンクリートおよび鉄筋に関する各種関連試験を行った。なお、試験対象が高所から落下した解体片であるため、落下時に脆弱な部分が既に失われ、供試体が落下による衝撃に耐えた部分となる可能性がある。したがって、本報告の試験結果は、当該構造物の脆弱部を含めた評価結果になっていない可能性があることをあらかじめ言及しておく。

## 2. 実施方法

### 2.1 概要

「第一大煙突解体工事」の本体解体工事を進めながら、発生する解体片を一定間隔（@30m）で所要分サンプリングしたものを確保しておき、後日所定の各種試験を行った。サンプリングの概要を図-1に、供用時における

煙突の俯瞰を写真-1示す。また、建造物としての諸元を表-1に示す。なお、解体は、煙突頂部まで届くクレーンのジブの先端に破碎装置を取り付けて上部から始めている。したがって、破碎して切り取られた解体片は、当該高さから地面に直接落下することになる。



写真-1 大煙突の俯瞰

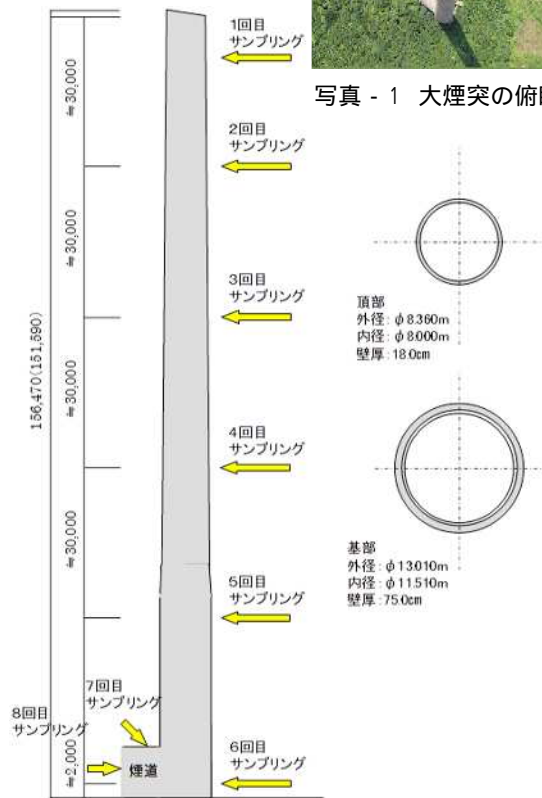


図-1 サンプリングの概要

表-1 佐賀関第一大煙突の諸元

	摘要
用途	銅製鍊の排煙処理
配筋	主筋： 28.6 ~ 12.7 <sup>*1)</sup> @120(下部) ~ @350(上部) せん断補強筋： 19@150
ライニング	GL-45.72mまで2重壁(内壁:t=120)
所在地	海から約1km、標高126.49m

注] \*1) : 角型鋼(米国製)

\*1 五洋建設(株)技術研究所 建築技術開発部 (正会員)

\*2 パンパシフィック・カッパー(株)佐賀関製鍊所 技術部設備技術課

\*3 五洋建設(株)九州支店 大分営業所

## 2.2 実施項目

### (1) コンクリート

解体片の中、コンクリートに関して実施した試験項目と方法について表 - 2 に示す。

### (2) 鉄筋

解体片の中、鉄筋に関して実施した試験項目と方法について表 - 3 に示す。

### (3) その他

解体片の中、骨材と打継ぎ部に関して実施した試験項目と方法について表 - 4 に示す。

表 - 2 コンクリート関連試験項目

調査項目	試験項目	試験方法	摘要	頻度・回数
解体片の状態	劣化状態	目視観察	変状が認められる場合	1回@30m
コンクリート 強度性状	圧縮強度	JIS A 1107	コア 100×200、解体片貫通採取 <sup>1)</sup>	×3 @30m + 煙道
	静弾性係数	JIS A 1149	コンプレッソメータ、圧縮試験時	×3 @30m + 煙道
	動弾性係数	JIS A 1127	コア 100×3	×3 @30m + 煙道
	[反発度] <sup>2)</sup>	JIS A 1155(参考)	リバウンドハンマー	×1 @30m + 煙道
コンクリート 組成	組成分析	配合推定	セメント協会法 <sup>3)</sup>	×2 @30m + 煙道
	組成分析	粉末X線回折	結晶物質の同定・定量	×1 @30m + 煙道
	細孔径分布	水銀圧入法	試料:モルタル 2.5~5 mm	×1 @30m + 煙道
	EPMA <sup>4)</sup>	定量分析	分析対象:S, Cl	×1 @30m + 煙道
	文献による確認	関連文献参考	煙突 C:S:G = 1:2:4	煙突部, 煙道部
耐久性	中性化深さ	JIS A 1152	外表コア割裂 フェノールフタレイン	×3 @30m + 煙道
	塩化物量	JIS A 1154	全塩分量試験:壁厚方向@20 mm	×1 @30m + 煙道
	鉄筋発錆状態	目視観察	腐食段階判定( ~ )	×3 @30m + 煙道

注] 1) コア供試体は、解体片から貫通採取し、成形する。内外方向が分かる場合は外周側から採取する。

2) コア採取の解体片が 12kg を超え、安定した状態で打撃できる平滑な面を有した場合に実施する。

3) 石灰系骨材を含む場合は、「グルコン酸ナトリウムを用いる方法」による。

4) EPMA(電子線マイクロアナライザー)は、イオウ(S)と塩素(Cl)について定量分析する。

表 - 3 鉄筋関連試験項目

調査項目	試験項目	試験方法	摘要	頻度・回数
鉄筋の 強度性状	引張強度	JIS Z 2241	主筋、せん断補強筋	×3 @30m + 煙道
	静弾性係数	JIS Z 2241 +	ワイヤレス・ストレインゲージ	×3 @30m + 煙道
鉄筋の付着	付着強度	引抜き試験	万能試験機 + 球座	×3 @30m
鉄筋の腐食	腐食(発錆)状態	目視観察	腐食段階判定( ~ )	×3 @30m + 煙道
	腐食面積	画像処理	腐食面積率の算定	×3 @30m + 煙道
	腐食量	洗い試験 JCI-SC1	クエン酸溶液処理による質量・断面積の低減量	×3 @30m + 煙道
鉄筋の組成	組成分析	粉末X線回折	結晶物質の同定・定量	×3 @30m + 煙道

表 - 4 その他試験項目

調査項目	試験項目	試験方法	摘要	頻度・回数
骨材	各個・混合状態	目視観察	破碎・欠損、分散状態	×3 @30m + 煙道
	岩種特定	顕微鏡観察	鉱物種による識別	×1 @30m + 煙道
打継ぎ	近傍の状態	目視観察	打継ぎ面・近傍の状態	×3 @30m + 煙道
	中性化深さ・範囲	JIS A 1152	半割コア フェノールフタレイン	×3 @30m + 煙道
	鉄筋発錆状態	目視観察	腐食段階判定( ~ )	×3 @30m + 煙道

### 3. コンクリート関連試験の実施結果

各試験の結果は、紙面の都合上、主要な項目についてのみ報告する。

#### 3.1 コンクリート強度性状

表 - 5 に、コンクリートの力学性状に関する各試験結果について並列して示す。なお、表 - 5 の試験結果は、試験値の平均と標準偏差( )内の数値)を示している。

各高さ位置におけるコア圧縮強度は、煙道部を除いて概ね 30N/mm<sup>2</sup>近傍と普通強度の範囲であった。この傾向は、コア供試体による静弾性係数や動弾性係数も同様であり、試験値の分散傾向からみると、圧縮強度よりもやや安定的であった。

一方で、煙道部に著しい高強度領域の試験値が見られたのは、配合、施工条件や環境・養生条件などが複合的に作用して、局部的に発現したものと考えられる。

表 - 5 コンクリートの圧縮強度関連試験結果

採取場所	No	圧縮強度 <sup>1)</sup> (N/mm <sup>2</sup> )		静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )		動弾性係数 <sup>2)</sup> (kN/mm <sup>2</sup> )	
		各値	平均 <sup>3)</sup>	各値	平均 <sup>3)</sup>	各値	平均 <sup>3)</sup>
煙道 1	1	40.3	48.1 (12.2)	27.1	30.7 (6.9)	32.0	34.1 (4.3)
	2	65.3		40.3		40.1	
	3	38.6		24.6		30.3	
煙道 2	1	27.0	30.3 (2.4)	23.0	22.7 (2.1)	27.8	27.7 (1.7)
	2	31.6		20.0		25.6	
	3	32.3		25.0		29.7	
煙突 0 ~ 30m	1	25.3	28.3 (5.7)	18.7	20.7 (2.0)	25.4	27.3 (2.8)
	2	36.3		23.5		31.3	
	3	23.3		20.0		25.2	
煙突 30 ~ 60m	1	34.8	30.9 (6.0)	23.7	20.9 (6.2)	23.0	27.4 (3.4)
	2	35.5		26.8		31.1	
	3	22.4		12.3		28.2	
煙突 60 ~ 90m	1	25.5	24.9 (2.1)	22.7	21.1 (1.3)	28.5	27.2 (1.6)
	2	27.1		21.1		28.2	
	3	22.0		19.6		24.9	
煙突 90 ~ 120m	1	28.3	33.5 (7.6)	21.7	25.4 (3.1)	30.4	31.6 (2.0)
	2	44.3		29.4		34.5	
	3	28.0		25.2		30.0	
煙突 120 ~ 150m	1	33.5	34.9 (4.4)	25.5	26.0 (1.7)	30.2	30.0 (1.5)
	2	40.8		28.3		31.7	
	3	30.4		24.3		28.1	
煙突 150m ~	1	[26.8]	[28.8] (2.4)	-	-	-	-
	2	[27.5]		-		-	
	3	[32.2]		-		-	

注] 1) [ ] 内の数字は、JIS A 1107 による補正後の強度値。

2) 動弾性係数は、JIS A 1127 による縦振動。

3) ( ) 内の数字は標準偏差を示す。

また、煙突部 60~90mの圧縮強度が相対的にやや低めではあるが、推定される当時の設計基準強度を十分に満足しており、総体的には良好な材料・施工であったと推察される。

#### 3.2 コンクリート組成

表 - 6 に、配合推定結果と配合に関連すると考えられる各種試験結果を並列して比較した。なお、煙道と煙突部の設計配合は異なり、後者は、セメント:砂:砂利 = 1:2:4 であった。また、表中の平均と標準偏差は、煙突部の試験値について算定されている。

配合推定による水セメント比は、煙突部 30~60mでやや低い値が見られ、煙突部 120~150mではやや高い値が見られたが、それ以外はいずれも煙突部の平均に近い範囲であった。

同位置の2試料間に相応の差違が見られるのは、配合推定試験自体に含まれる誤差要因に加えて、当時骨材の水量管理が十分でなかったこと、温度・湿度などの環境因子による水量調整が確立されていなかったことなどが、影響を及ぼしたものと考えられる。

表 - 6 配合推定と関連試験結果の比較

採取場所	No	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		W/C (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		平均 細孔直径 (μm)
		セメント	水		各値	平均	
煙道 1	1	330	167	50.6	40.3	48.1	2.35 × 10 <sup>-2</sup>
	2	309	168	54.3	65.3 38.6		2.59 × 10 <sup>-2</sup>
煙道 2	1	313	180	57.4	27.0	30.3	1.44 × 10 <sup>-2</sup>
	2	316	193	60.9	31.6 32.3		1.51 × 10 <sup>-2</sup>
煙突 0 ~ 30m	1	356	194	54.0	25.3	28.3	5.66 × 10 <sup>-2</sup>
	2	332	185	58.6	36.3 23.3		6.81 × 10 <sup>-2</sup>
煙突 30 ~ 60m	1	342	196	54.1	34.8	30.9	1.15 × 10 <sup>-1</sup>
	2	456	194	39.6	35.5 22.4		8.25 × 10 <sup>-2</sup>
煙突 60 ~ 90m	1	360	176	54.5	25.5	24.9	1.28 × 10 <sup>-2</sup>
	2	394	191	49.4	27.1 22.0		1.39 × 10 <sup>-2</sup>
煙突 90 ~ 120m	1	375	181	48.0	28.3	33.5	1.57 × 10 <sup>-2</sup>
	2	374	160	47.0	44.3 28.0		1.62 × 10 <sup>-2</sup>
煙突 120 ~ 150m	1	322	168	59.4	33.5	30.0	2.24 × 10 <sup>-2</sup>
	2	271	180	74.8	40.8 30.4		2.61 × 10 <sup>-2</sup>
煙突 150m ~	1	405	192	44.6	26.8	28.8	2.72 × 10 <sup>-2</sup>
	2	323	194	49.6	27.5 32.2		2.35 × 10 <sup>-2</sup>
平均 <sup>1)</sup>		359	184	52.8	30.2		3.92 × 10 <sup>-2</sup>
(標準偏差)		(45)	(11)	(8.6)	(6.1)		(3.10 × 10 <sup>-3</sup> )

注] 1) 平均と標準偏差は、煙突部の試験値により算定。

煙突部 0～60mにおける細孔平均直径が他より突出しているため、全体的にコア圧縮強度と細孔平均直径の関係は明らかではないが、その2データを除外すると、細孔平均直径は圧縮強度に関わらず、ほぼ一定範囲に止まることが分かる。これより、耐久性の指標である細孔径は、強度値と明確な相関は見られないが、ある一定範囲内の強度値に対しては、ほぼ近似した平均径を示すことが類推される。

また、EPMA分析の結果、分析対象とした成分の分布状態は以下の通りである。なお、EPMA分析は、排気による影響と飛来塩分量を確認することを主な目的としたが、煙突部の内側と推察される変色部分を対象として行った。

- ・S(イオウ): 一般的に対象面全体に薄く分布している場合が多いが、分布状態にやや差違が見られる。
- ・Cl(塩素): 低所部ではほとんど分布は見られないが、高所部では薄く分布している。

Sは、排煙にも含まれる成分であるが、試料の採取位置や高さによる分布の違いは明確には現れていない。

Clは、塩化物量が高所部に移行するに従い多くなっていったことから、塩化物量の分布傾向に合致している。

### 3.3 コンクリートの耐久性

表-6に、コンクリートの耐久性に関連する中性化および塩化物量の各試験結果を一括して示す。なお、両試験は、別々に採取したコア供試体を用いて実施しているが、前者については、煙突部表面から測定できるように供試体を設定したが、後者については供試体の内外は明確ではない。

中性化深さについては、煙突部0～30mを除いて、いずれも極めて小さい試験値を示している。同0～30mの箇所についても中性化深さは最大50mmであり、耐用期間や周辺環境を考慮すると決して大きな数値ではない。

一方、塩化物量は、試験値を単位容積あたりに換算すると、いずれも建築における基準値(0.30kg/m<sup>3</sup>以下)を大きく超え、煙突部60m以上の部分については、土木における腐食限界値(1.2kg/m<sup>3</sup>)をはるかに上回る塩化物量となった。

コンクリートの耐久性に深く関係する両試験結果の間に、このような違いが表出したのは、当該案件が沿岸部近傍に位置していたため、ほぼ全周方向から飛来塩分の影響を長期間にわたって受けていたのに対し、中性化の発生要因である二酸化炭素濃度は、沿岸部近傍であっても、内陸部と大きく変わらないため、また、細孔径分布試験結果などからも伺えるように、約100年前の施工とは言い、比較的緻密なコンクリート組成であることから、中性化の進行については、地上部と同様に比較的良好に抑制されていたものと考えられる。

表-6 耐久性関連試験結果

試験体	中性化深さ(mm) <sup>1)</sup>				塩化物量(w/w%)		塩化物量 <sup>4)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	
	場所・位置	内外	平均	全体	最大	最大 <sup>2)</sup>		平均 <sup>3)</sup>
煙道1	1	外側	0	3	0	[2-4] 0.016	0.007 [0.005]	0.387
			0		1			
			10		15			
煙道2	1	外側	1	1	5	[0-2] 0.02	0.005 [0.007]	0.469
			0		0			
			0		2			
0～30m	1	外側	45	39	48	[2-4] 0.039	0.018 [0.009]	0.908
			46		50			
			25		28			
30～60m内側	1	内側	30	10	35	[10-12] ]	0.016 [0.011]	0.836
			0		0			
			0		0			
60～90m	1	内側	12	8	15	[4-6] 0.139	0.048 [0.040]	3.235
			13		12			
			0		0			
90～120m	1	内側	5	4	6	[4-6] 0.139	0.045 [0.038]	3.262
			6		7			
			0		0			
120～150m	1	内側	0	2	0	[4-6] 0.124	0.042 [0.032]	3.024
			0		0			
			5		6			
150m	1	内側	0	2	0	[2-4] 0.129	0.036 [0.036]	3.090
			0		0			
			5		6			

- 注] 1) 解体片の平面位置により対象が内側あるいは外側となる。  
 2) [ ]内は最大値を示した深さ位置(cm)を示す。  
 3) [ ]内は標準偏差を示す。  
 4) 塩化物量最大値に配合推定による単位質量を乗じて算出。

## 4. 鉄筋関連試験の実施結果

### 4.1 引張試験

表-7に、各試験結果について、同時期に建設された大規模なRC造煙突(日立大煙突)の試験値および現在のJIS規格と比較したものを示す。佐賀関大煙突では、鉄筋は米国製の角型鋼(15.8～28.8)を用いている。ただし、煙道部や基礎部では、国産の丸鋼を用いた。なお、日立大煙突は、佐賀関大煙突の供用2年前に茨城県日立市に建造されたRC造の高さ155.8mの大煙突で、佐賀関が内足場方式で施工されたのに対し、外部総足場方式で、外部に揚重設備を設けて施工された。いずれも1年を要さない短工期で供用に到っている。

表-7より、応力度については、降伏点、最大値とも、いずれもJIS規格値を超えており、日立大煙突に比較しても大きく超えている。また、降伏点応力度より最大応力度の方が、同規格値を上回る度合いが大きいため、(降伏応力/最大応力)はJIS規格や日立大煙突のそれより小さくなっている。

表 - 7 引張試験結果比較一覧

鉄筋形状・径	規格	鉄筋径 (mm)	応力度(N/mm <sup>2</sup> ) <sup>2)</sup>		降伏 / 最大	静弾性係数 <sup>3)</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び <sup>4)</sup> (%)	ひずみ <sup>5)</sup> (%)	備考
			降伏点	最大					
15.8		15.91 (0.08)	359.8 (29.3)	633.4 (18.3)	0.568	180.1 (10.1)	17.14 (2.85)	19.34	米国製
19.6		19.04 (0.51)	299.4 (6.1)	566.9 (23.0)	0.528	170.0 (10.6)	13.42 (2.93)	18.87	"
22.3		22.45 (0.19)	350.4 (10.1)	590.7 (11.1)	0.594	189.7 (6.9)	17.55 (2.74)	17.24	"
26.6		25.87 (0.18)	318.7 (11.1)	591.1 (11.2)	0.539	189.0 (2.2)	22.62 (0.39)	20.80	"
28.8		29.02 (0.18)	294.1 (10.8)	591.1 (11.2)	0.520	176.0 (14.5)	20.88 (5.76)	19.46	"
31.9		31.80 (0.08)	312.7 (18.1)	470.8 (41.7)	0.664	208.0 (0)	27.94 (5.84)	22.88	国産
日立煙突 <sup>1)</sup>		D11.1 ~ D28.6	274	359	0.763	169	-	-	建築学会大会論文
JIS規格	SD295	16以下	295	440	0.670	-	16	-	
		16超	295	440	0.670	-	17	-	

注] 1) 日本鋳業・日立大煙突(1914年竣工)に関する建築学会大会論文(1996年)より。  
 2) ひずみ0.2%から約0.1%の弾性係数を用いた平行線から算定している降伏点強度による。  
 3) ひずみ0~0.1%における直線の傾き。 4) 試験区間内での破断における試験区間内の伸び。  
 5) 測定における最大ひずみの平均値。 ( )内は各試験値の標準偏差を示す。

静弾性係数は、通常の現代における鉄筋のそれよりもやや小さいものの、日立煙突で使用されていた鉄筋の静弾性係数より全般的に大きくなっている。

また、破断伸びは、19.6などはJIS規格値を下回っているが、引張試験時に測定されたひずみ値は、いずれも170000μ (=17%)を超えていることから、潜在的には伸び能力はそれほど低下していないものと考えられる。

#### 4.2 付着試験

表 - 8 に、今回の試験結果と予測値を比較したものを示す。同表中の網がけ部分は、最大荷重値を下回る耐力値を示している。また、図 - 2 に、試験体ごとの引張荷重と変位の関係を示す。

試験体コンクリートと鉄筋の界面にひび割れが発生し、鉄筋が完全に抜け出した試験体3を除き、いずれの試験

表 - 8 鉄筋付着試験結果

試験体 No.	鉄筋関連		測定値		耐力値(kN)			破壊モード
	形状・径 (mm) <sup>1)</sup>	付着長 (mm) <sup>3)</sup>	最大荷重 (kN)	最大時変位 (mm)	降伏 Try	引張 Tru	付着 Tbu <sup>3)</sup>	
1	10.0	100	38.61	4.71	36.27	63.85	27.55	付着破壊
2	16.6	172	57.07	2.13	99.20	174.63	70.12	付着破壊
3	16.0	148	6.67	25.08	62.98	94.82	51.15	界面割裂
4	8.3	182	21.23	0.02	24.68	43.45	37.66	溶接部切断
5	9.6	204	38.69	0.03	33.39	58.78	53.81	溶接部切断
6	14.2	152	60.21	0.13	49.50	74.53	48.61	付着破壊
7	10.1	168	27.64	0.01	36.59	64.42	66.97	溶接部切断
8	9.5	149	37.99	0.04	32.24	56.75	69.42	溶接部切断
9	9.8	154	37.49	0.00	34.54	60.81	85.42	溶接部切断
10	16.1	150	83.92	0.45	92.97	163.67	69.15	溶接部切断
11	16.2	167	72.77	2.89	94.09	165.63	67.21	付着破壊

注] 1) 鉄筋径は、2箇所の実測値の平均 2) 断面積は、実測値による。  
 3) 付着長さは、鉄筋埋込み部の実測値 4) 付着面積は、鉄筋径の実測値と付着長さの実測値による。  
 網がけ部分は、最大荷重を下回る耐力値を示す。

体も比較的少ない鉄筋の引抜き量にとどまり、図 - 2 に示すように、荷重低下後も鉄筋が大きく変位するような動きは見られなかった。

いずれにしても、試験体採取元が、高所における解体片で、落下による衝撃を受けた後であっても、鉄筋は埋込み長さやコンクリート強度に合わせて計算で示されるのと同程度以上の抵抗値を示し、その現象は付着長 10d 前後（例えば、試験体 10 は付着長 9.3d, 同 11 は 10.3d, d: 鉄筋径）でも比較的安定して見られた。

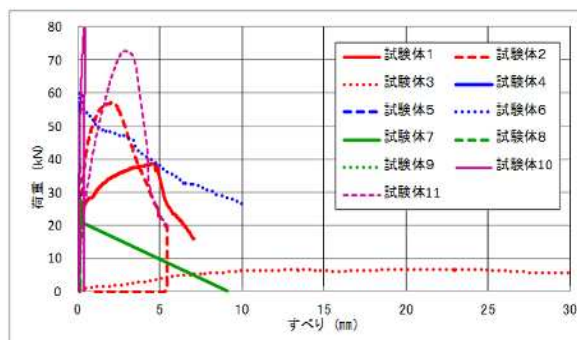


図 - 2 付着試験における荷重と変位の関係

表 - 9 粉末 X 線回折結果

種類	摘要	規格	wt. %				mol. %				備考
			Fe	Mn	O	Si	Fe	Mn	O	Si	
26.6	米国製	-	97.378	1.266	1.356	-	94.177	1.244	4.579	-	煙突部
D13	日本製	SD295B	96.094	1.616	2.034	0.256	91.218	1.559	6.739	0.484	比較用

#### 4.3 組成分析

各鉄筋の粉末 X 線回折結果から質量比と mol. 比を抽出したものを表 - 9 に示す。

これらより、Fe と Mn の量は現代の鉄筋と比較してもそれほど変わらないが、Si が抽出されず、O の量がやや少ない傾向にある。なお、今回の回折では、C (炭素) が抽出されなかったため、解体片から別に採取された鉄筋について、燃焼 - 赤外線吸収法により C 量を分析した結果、0.37 ~ 0.48 wt. % であった。また、日立大煙突における鉄筋の C 量は、異形 0.050 wt. %、丸鋼 0.07 wt. % (いずれも米国製)<sup>2)</sup>、現在の鉄筋の C 量は、0.27 wt. %<sup>3)</sup> であることから、佐賀関大煙突の鉄筋がいずれをも上回っていることが分かる。

#### 5. まとめ - 現代との比較

##### (1) コンクリート

各高さ位置におけるコア圧縮強度は、煙道部を除いて概ね 30N/mm<sup>2</sup> 近傍であり、現代においても普通強度の範囲であった。この傾向は、コア供試体による静弾性係数や動弾性係数も同様であり、試験値の分散傾向からみると、圧縮強度よりもやや安定的であった。中性化深さは、いずれも小さい値であったのに対し、塩化物量は、煙突部 60m 以上の部分は、土木の腐食限界値をはるかに上回る試験結果となった。これは、当該案件が、ほぼ全周方向から飛来塩分の影響を長期間にわたって受けていたのに対し、中性化の発生要因である二酸化炭素濃度は、内陸部と大きく変わらないため、約 100 年前の施工とは言え、比較的緻密なコンクリート組成であることから、中性化の進行については、比較的良好に抑制されていたと

考えられる。総体的には、現代であっても良好な材料・施工であると評価できる。

##### (2) 鉄筋

現行の JIS 規格や同時期に建設された RC 造煙突 (日立煙突) と比較については以下の通り。

応力度については、降伏点、最大値とも、いずれも JIS 規格値を超えており、日立煙突に比較しても大きく超えている。また、降伏点応力度より最大応力度の方が、同規格値を上回る度合いが大きい (降伏応力 / 最大応力) は JIS 規格や日立煙突のそれより大幅に小さくなっている。静弾性係数は、通常現代における鉄筋のそれよりもやや小さいものの、日立煙突で使用されていた鉄筋の静弾性係数より全般的に大きくなっている。破断伸びは、JIS 規格値を下回っている種類もあるが、引張試験時に測定されたひずみ値は、いずれも 170000 μ (= 17%) を超えていることから、潜在的な伸び能力はそれほど低下していないものと考えられる。引抜き試験の結果、落下による衝撃を受けた後であっても、鉄筋は計算で示されるのと同程度以上の抵抗値を示し、その現象は付着長 10d 前後でも比較的安定して見られた。

##### 参考文献

- 1) 日本鋳業株式会社五十年史編集委員会編：五十年のあゆみ， pp.51-59, 1957
- 2) 上野謙之助，永田英敏，五関直一，下川祐一：日本建築学会大会学術講演集 (近畿)，1996 年 9 月
- 3) 日本規格協会：JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼， pp.2, 2010