

## 端島炭坑跡建物等調査結果（70号棟の現況調査）

### 居住施設劣化度調査

建物基礎部が大きく洗掘されている70号棟（旧端島小中学校）の他、劣化したコンクリート造建築物の現状把握のため、現時点（平成26年度）における劣化状況等を調査した。

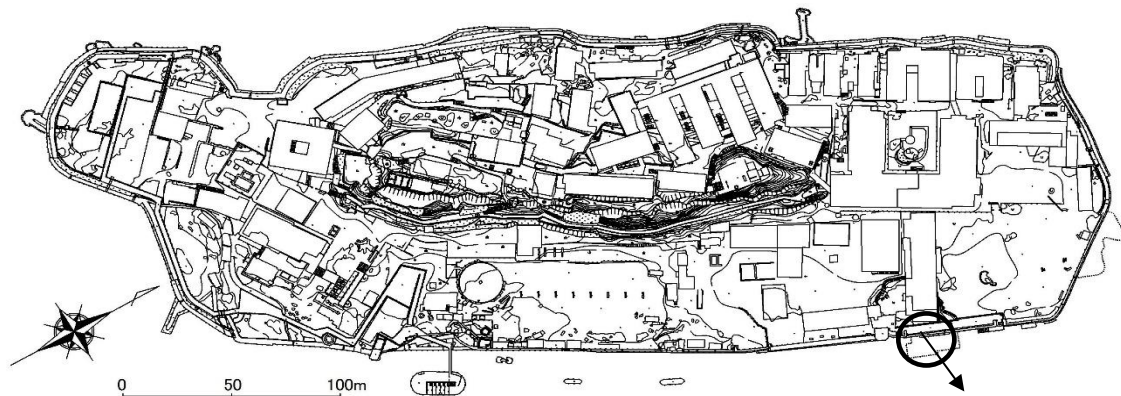
#### （1）70号棟の現況調査

70号棟は高島町立端島小学校・中学校の校舎として使用された建物である。現存している校舎は、昭和33年（1958）に鉄筋コンクリート造6階建として建てられたもので、昭和36年（1961）に7階部分が増築され現在の形状となった。70号棟が建てられる以前は、現在の位置の北側に昭和9年（1934）に建てられた木造2階建の校舎が存在していたが、昭和32年（1957）火災により消失している。なお、消失した校舎の基礎と思われる遺構が平成27年度の発掘調査により確認されている（第2章第3節3．発掘調査）。

現在の70号棟は建築から60年が過ぎ劣化が進んでおり、外壁の一部は崩落及び亀裂が確認される他、基礎部が海水の浸食で杭頭が露出しているほか一部が欠損している。また、内部は柱・梁にクラックが多数確認されている（写真2-4-111）。そこで、建物基礎部が大きく洗掘されている70号棟建物の変状を把握するため、建物の東側角を基準点として、2回、高さを測定し、沈下の進行状況を記録すると共に、今後も測定箇所が把握できるよう測量箇所にマーキングを行った。加えて、建物の傾き（南北方向、東西方向）についても、2回、傾斜度を測定し、現状と進行状況を記録するとともに、今後も測定箇所が把握できるよう、測定箇所にマーキングを行った。調査完了後、調査結果を基に変状図を作成した。なお、洗掘箇所については平成26年度に図面を作成している（第2章第3節2．（4）参照）。

また、70号棟の建築物を支えているコンクリート製杭基礎は、海水の洗掘により数本が滅失や破断等の状況であり本来の支持機能を有していないと想定された。そのため、建物及び基礎の劣化度を把握する為の調査を行った。なお、建物の劣化度は、平成25年3月に軍艦島コンクリート構造物劣化調査ワーキンググループが実施した「軍艦島コンクリート構造物の劣化調査」において算定した構造物の被災度区分定に基づく劣化調査及び耐用年数予測の手法を準用するものとする。

また、基礎の劣化度は基礎杭と建造物最下層をモデル化した3次元弾性FEM解析によって算出を行い、これらの結果を現況の劣化度として整理している。また、基礎の劣化度検討に際しては、平成26年度に作成された「基礎状況図」を参照して行った（第2章第3節2．（4）参照）。



建物調査箇所



70号棟外観



70号棟基礎



北正面



南東より



建物北側の基礎部



基礎部拡大

写真 2-4-111 70号棟現状

## 1) 70 号棟の傾斜推定と変状図（損傷図）作成

### ①計測計画

建物の東側角を基準点として、2回、高さを測定し、沈下の進行状況を記録すると共に、建物の傾き（南北方向、東西方向）についても、2回、傾斜度を測定し、現状と進行状況を記録した。なお、2回の計測は以下の日程で行った。

- ・第1回：平成26年10月3日
- ・第2回：平成27年2月27日

### ②測定点の設置

#### ②-1 基本方針

計測に先立ち、70号棟建物の東面と北面に、高さ・傾斜を測定するための点を、それぞれ2箇所ずつ設置した。設置の際は、コンクリートの浮きなどが無く、化粧モルタルの剥離した箇所を選定した。また、継続的な高さ・傾斜の計測を実施するため、設置する測量箇所は、測量鋺とペイントマーカーによるマーキングの2種類が考えられた。しかし、対象面は劣化が激しく（写真2-4-112）、鋺の削孔の際に表面のモルタルが剥離する恐れがあることと、70号棟東端の下部は洗掘により安定した足場が存在しないことにより、ペイントマーカーによるマーキングを採用した。ただし、70号棟東面北端部のみ、全体の基準とするため測量鋺を採用した。

#### ②-2 測定点観測

選定した4箇所の範囲内で、表面の剥離等の恐れがない箇所を選定し、基準となる70-2（図2-4-55参照）に鋺を設置した。近傍の3級基準点（NO.2 H=5.171）（写真2-4-113）を用いた水準測量の結果、70-2の高度はH=6.550mであった。そこで、次回計測時に変位量が即時に算出できるよう、4点全てを同じ高さ（H=6.550m）に設置した。





写真 2-4-113 3級基準点 (No. 2)



写真 2-4-114 水準測量

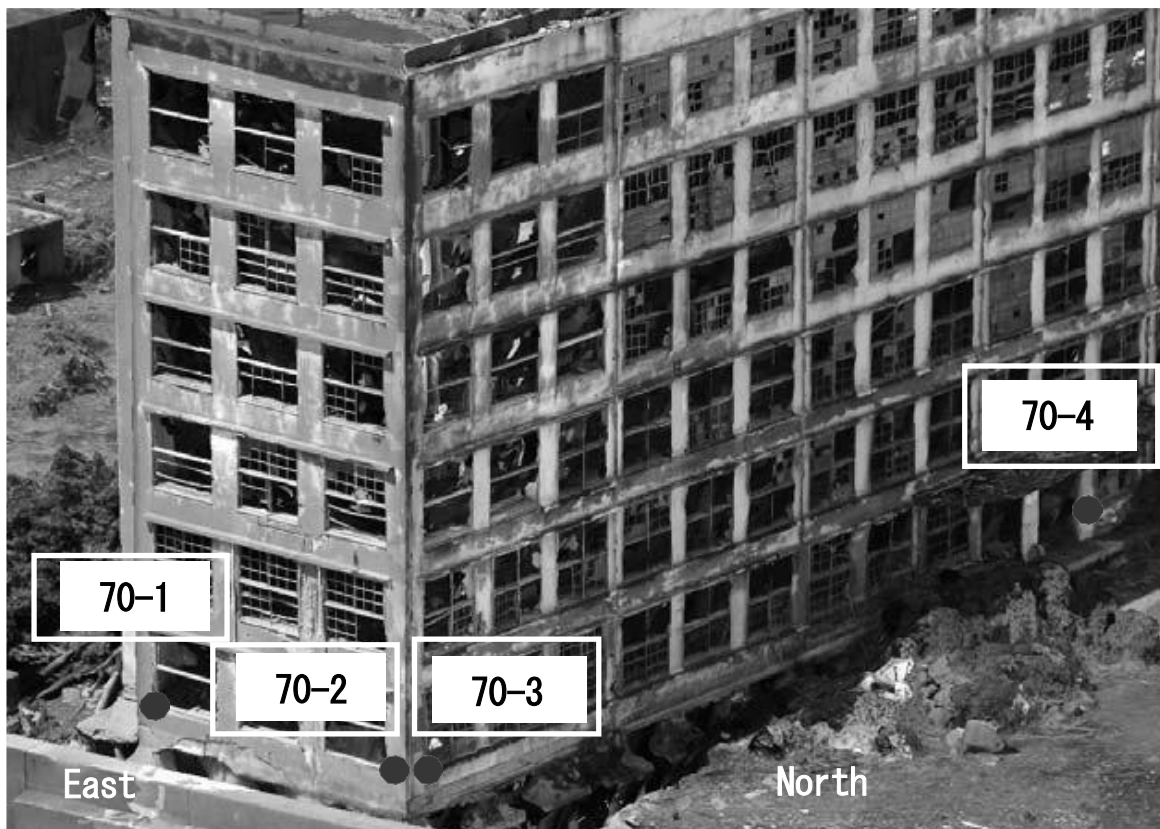


図 2-4-55 測定点の設置位置

### ②-3 確認測量

オートレベルを用いて測定点を設置した後にトータルステーションにより 70-1 と 70-2、70-2 と 70-3 の点間距離を算出すると共に、点の高さの確認も同時に実施した結果、全ての点の高度が 3mm 以内に収まっていることを確認した（表 2-4-47）。

表 2-4-47 確認測量の結果

点名	高度	「70-2」との差
70-1	6.549m	-0.001m
70-2	6.550m	0
70-3	6.551m	+0.001m
70-4	6.552m	+0.002m

### ③高さ測定

高さの測定結果を表 2-4-48 に示す。観測差は全ての測定点で 1mm であった。

表 2-4-48 高さ測定の結果

測定回	測定日時	測定結果（高度）			
		70-1	70-2	70-3	70-4
第 1 回	2014 年 10 月 3 日	6.550m	6.550m	6.550m	6.550m
第 2 回	2015 年 2 月 27 日	6.551m	6.551m	6.551m	6.551m

### ④傾き測定

平成 26 年（2014）10 月 3 日に測定した各点の高度から求められる傾斜を初期値、すなわち傾斜度を”0”と設定し、これらに対する平成 27 年（2015）2 月 27 日の測定値を比較した。

2 回計測した傾き・水平距離を比較した結果、双方 2mm 以内に収まっており、計測誤差を含んでいることから、傾斜度の変化はなかったと言える。今後定期的に 4 点の計測を行うことで、継続的に傾斜度を監視することが可能であり、維持管理のための基礎データ収集に寄与すると考えられる。（傾斜度は、初期値水平距離を基準として算出）

表 2-4-49 傾き計測結果一覧表

	2014年10月3日		2015年2月27日	
点名	高さ[m]	変位[m]	高さ[m]	変位[m]
70-1	6.550	0.000	6.551	0.001
70-2	6.550	0.000	6.551	0.001
70-3	6.550	0.000	6.551	0.001
70-4	6.550	0.000	6.551	0.001
点間	距離[m]	変位[m]	距離[m]	変位[m]
70-1~70-2	9.892	0.000	9.89	-0.002
70-3~70-4	33.290	0.000	33.288	-0.002
点間	高さの差[m]	傾斜度[deg]	高さの差[m]	傾斜度[deg]
70-1~70-2	0.000	0.000	0.000	0.000
70-3~70-4	0.000	0.000	0.000	0.000

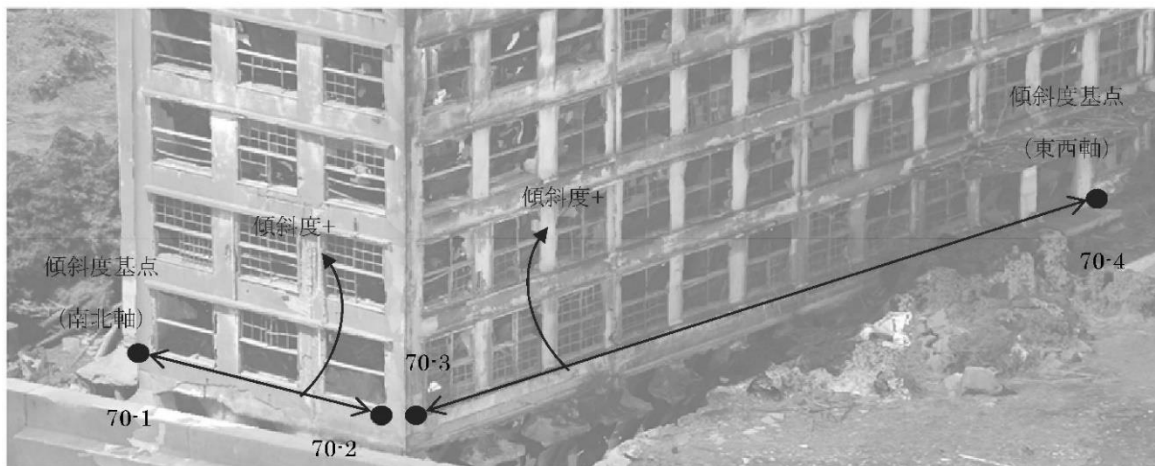


図 2-4-55 傾斜度の向き

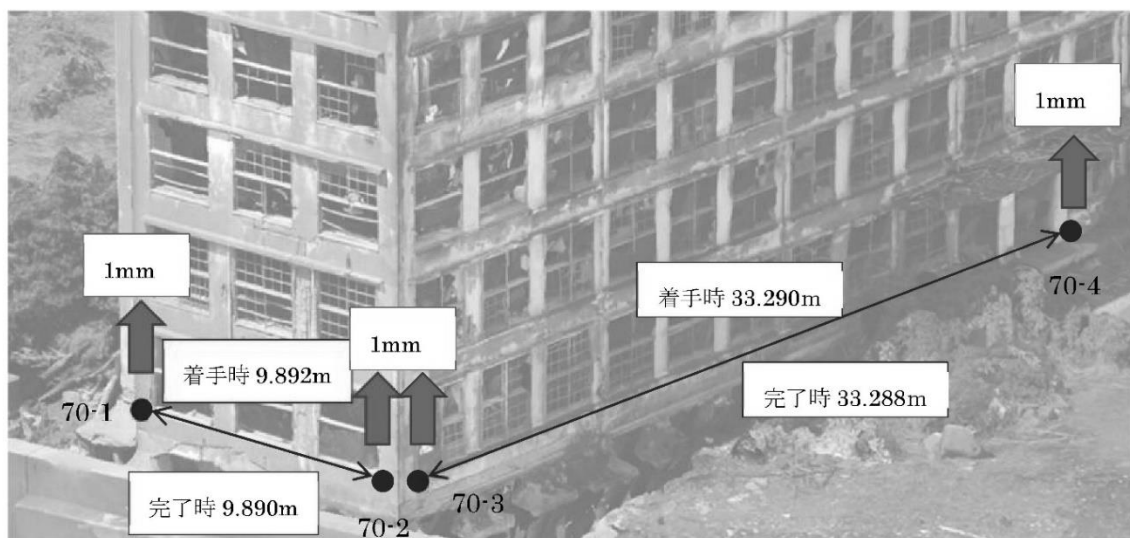


図 2-4-56 高さ・点間距離測定の結果

④-1 3次元レーザー計測

70号棟の傾斜度算出するにあたって、補足として3次元レーザー計測を行った。70号棟の周囲と70号棟内の東端の部屋にて、合計10カットの計測を行い合成した結果を以下に示す。データは全て、3次元座標を持った点で表現される。任意断面を抽出することも可能で、建屋内部・外部を計測することで、壁厚・スラブ厚の算定も可能である。

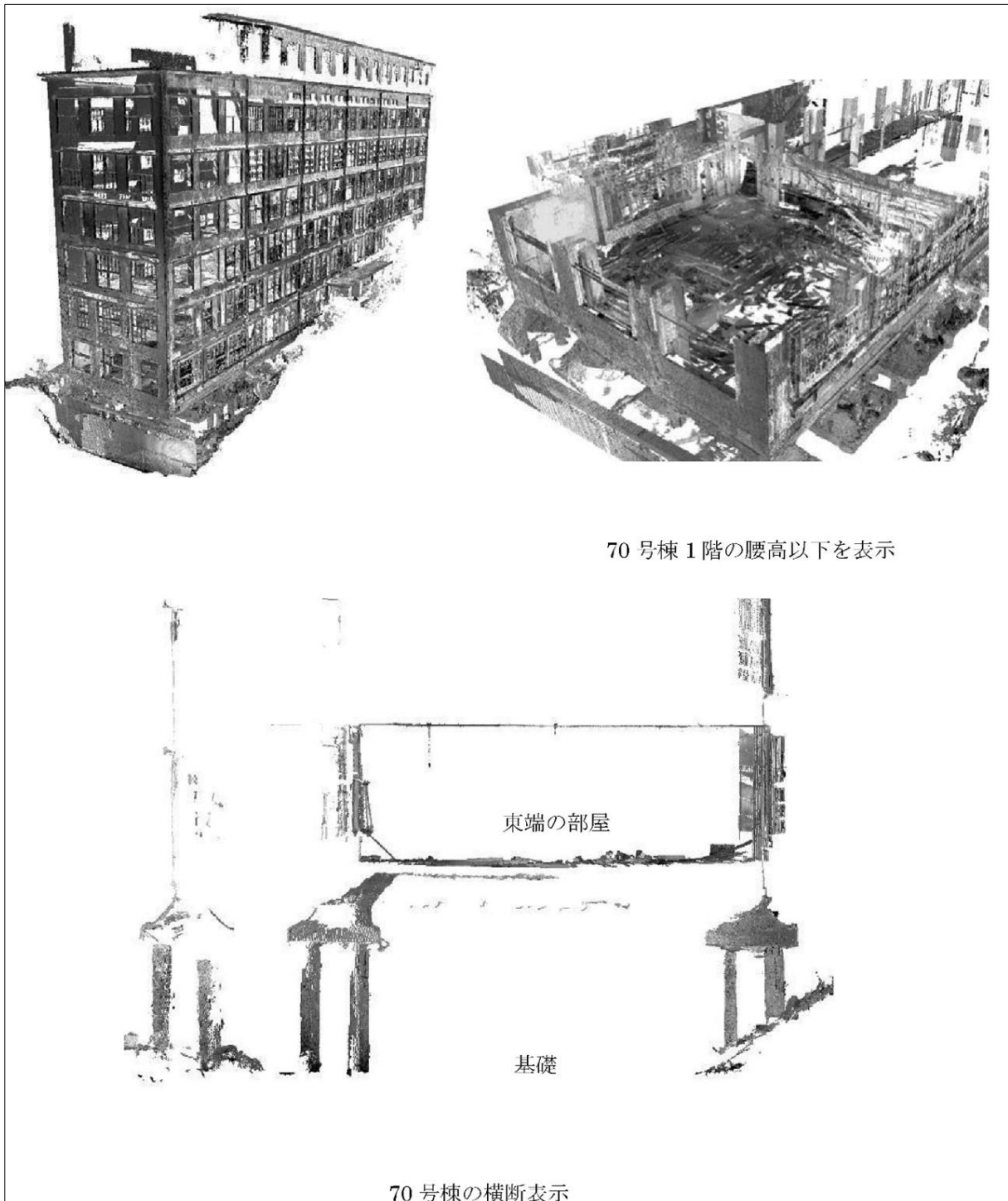


図 2-4-57 70号棟 3次元点群データ

⑤変状図

2回の計測及び3次元レーザー計測の結果を反映した変状図（損傷図）を図2-4-58に示す。

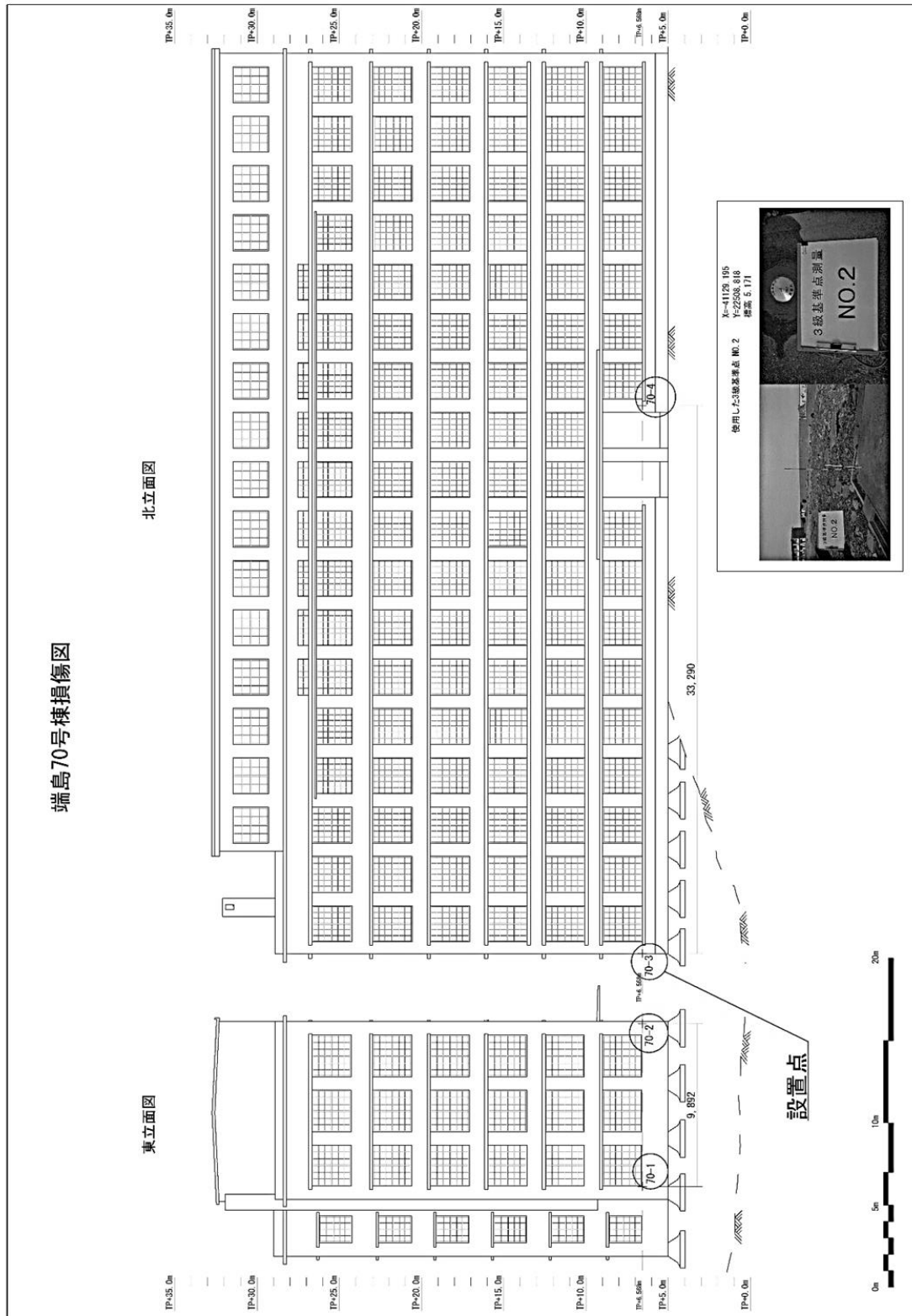


図2-4-58 70号棟変状図



⑥傾斜の推定

図 2-4-59 は 70 号棟東面の 1 階窓下部にて基準線を設定し、その垂直面に対しての壁面の離隔量を色により表現した図である。凡例に示すように緑を基準として、基準面よりそれぞれ赤が 30mm 前方、青が 30mm 後方に壁面の取得点群が存在することを示す。なお、今回は地上からのみ計測を行っているため、上部の点密度が低くなっている。計測結果を観察すると、上部の方が青に近い色となっているため、基準面より後方に壁面があると考えられる。しかし、1 階のみが緑～赤の色が濃く現れているため、2 階以上に対して、1 階部分が東に 15～20mm 程度、張り出していると考えられる。

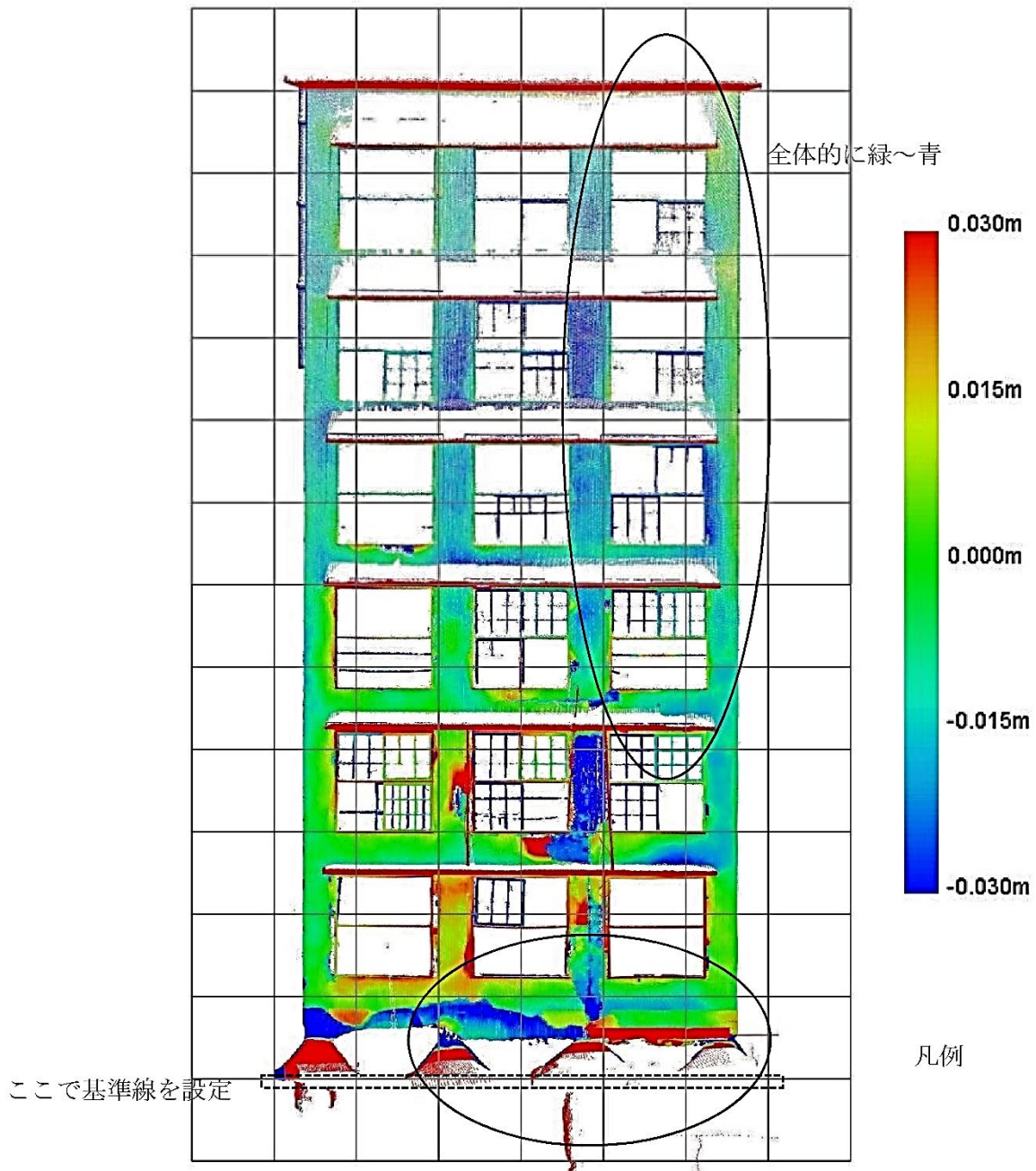


図 2-4-59 70 号棟東面のカラーコンター図 (±30 mm)



この部分が沈下

写真 2-4-115 70号棟北面東端

## 2) 70号棟現状劣化度調査

### ①調査概要

70号棟建物の現状劣化度を判定するにあたり、鉄筋の腐食に着目した「腐食グレーディング」と、構造性能に着目した「構造性能グレーディング」を行った。なお、各グレーディングの方法は、『軍艦島コンクリート構造物の劣化度調査報告書』（日本建築学会 2013）に準じて行った。

### ②腐食グレーディング評価






柱、梁部材を対象にして目視調査を行い、表面のひび割れ、錆汁、鉄筋露出の状況に基づき、損傷度を評価する。以下に判定基準を定めた表と参考例（写真 2-4-116）を示すと共に、70号棟 1階から 6階の腐食グレーディングの目視結果を示す（図 2-4-60・61）。表 2-4-50 は通常の損傷度区分、表 2-4-51 は日本建築学会が定めた端島の現状に即した評価基準である。今回の目視調査では表 2-4-51 を用いて評価している。

調査結果を観察すると、多くの階で東側の劣化が著しい事が看取される。また、南側より北側が劣化している。その理由としては、東側及び北側は風雨や潮風を遮る建物が存在しないためと考えられる。

表 2-4-50 通常の損傷度区分

損傷度	損傷状況
無	損傷が認められない場合
I	ごく軽微なひび割れや錆汁が認められる場合
II	ひび割れ、錆汁、あるいは剥離が部分的に認められる場合
III	ひび割れ、錆汁、剥離、あるいは剥落が連続的に認められる場合
IV	鋼材の露出や破断、またはコンクリートの断面欠損が認められる場合

表 2-4-51 端島の現状にあわせた評価基準

損傷度	損傷状況	凡例
グレード I	表面にひび割れ+錆汁	
グレード II		
グレード III	腐食した鉄筋が露出している	
グレード IV		
グレード V	鉄筋の痕跡はあるが朽ちてしまっている（存在しない）	

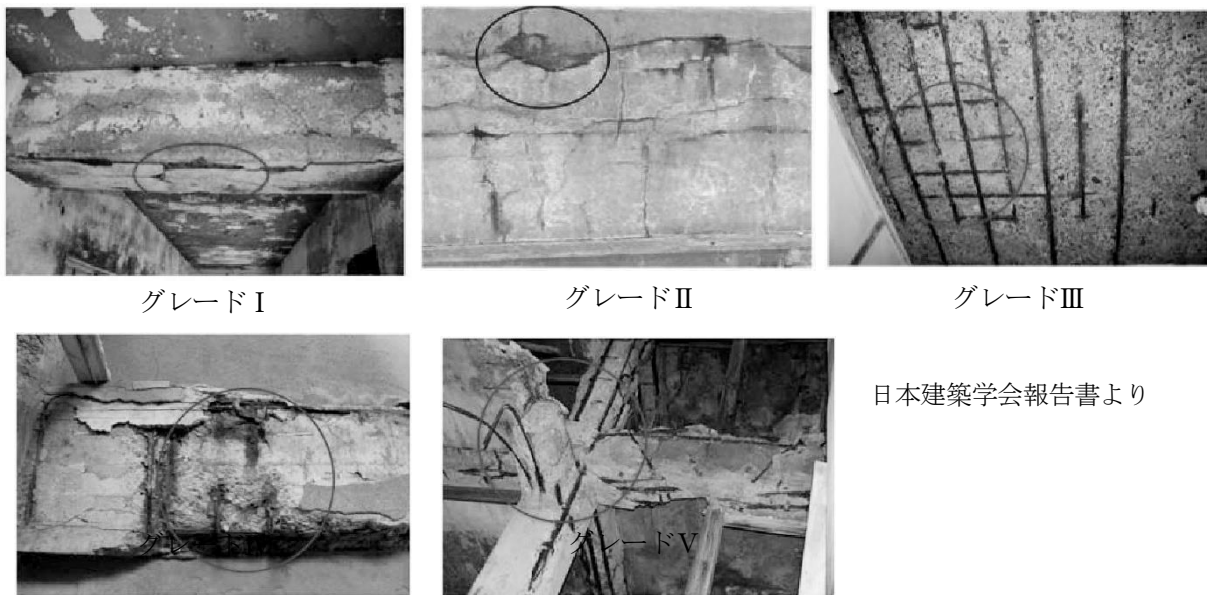
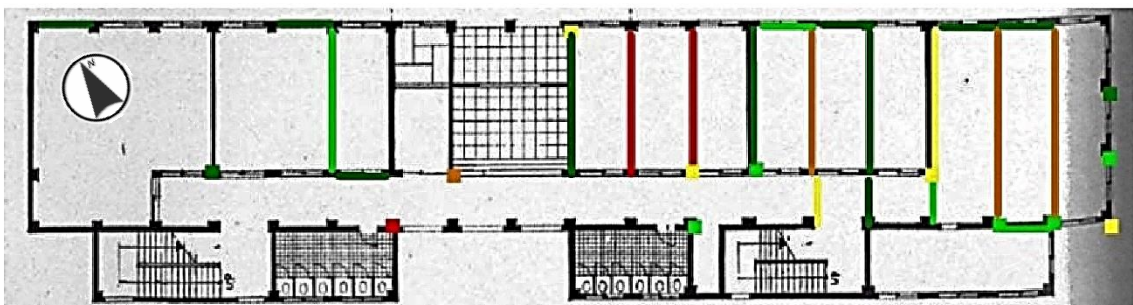
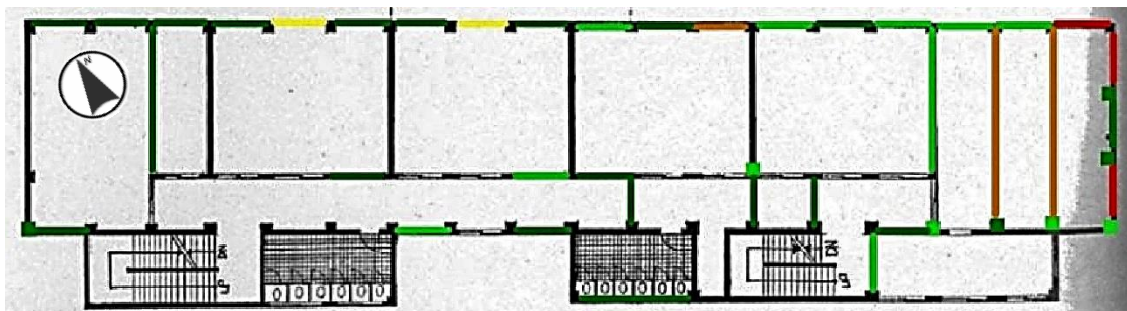


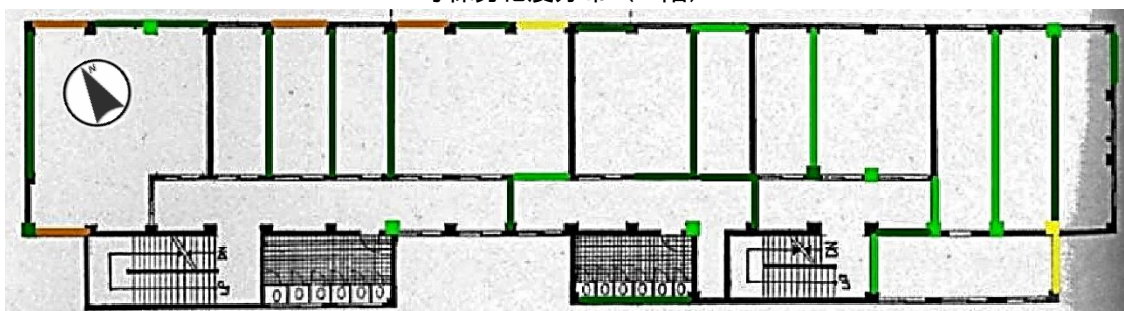
写真 2-4-116 端島の現状に合わせた劣化グレードの例



70号棟劣化度分布（1階）

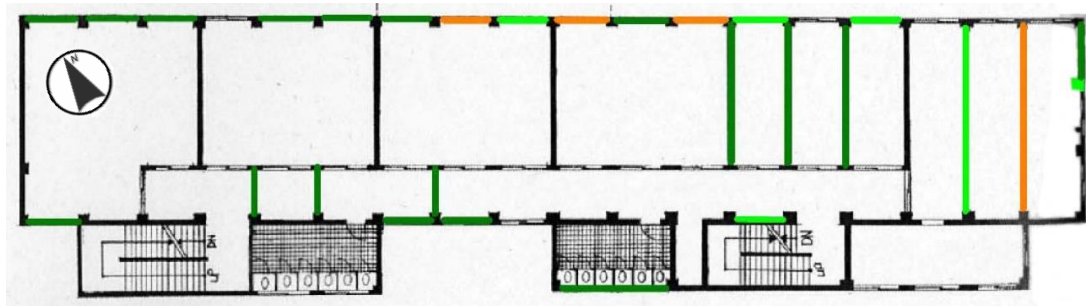


70号棟劣化度分布（2階）

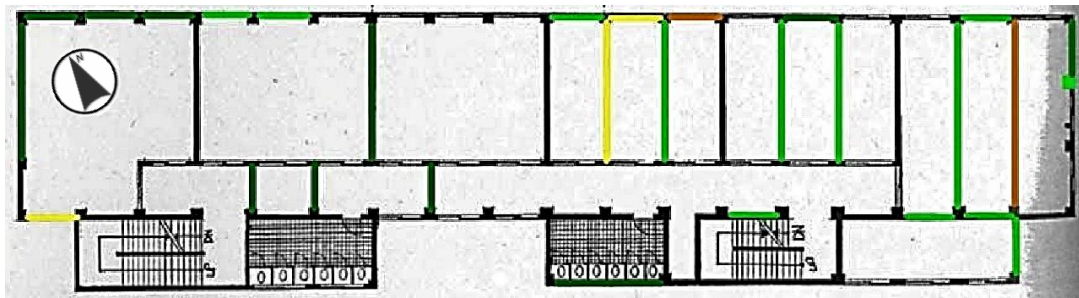


70号棟劣化度分布（3階）

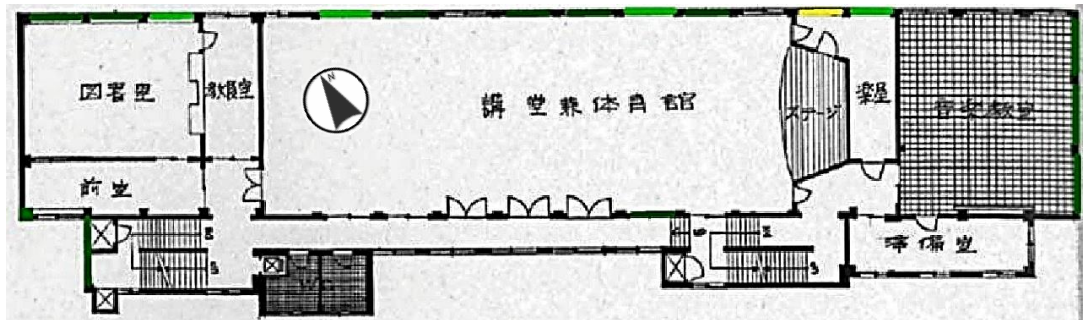
図 2-4-60 70号棟劣化度分布図（1階～3階）



70号棟劣化度分布（4階）



70号棟劣化度分布（5階）



70号棟劣化度分布（6階）

図 2-4-61 70号棟劣化度分布図（4階～6

③構造性能グレーディング評価

建物の鉛直部材（せん断柱、曲げ柱、柱なし壁、片側柱付き壁、両側柱付き壁）を対象にして目視調査を行い、表面のひび割れ幅、被りコンクリートの剥落、鉄筋の状態に基づき損傷度を評価している。以下に判定基準を定めた表（表 2-4-52）と参考例（写真 2-4-117）を示すと共に、70号棟 1階から6階の構造グレーディングの目視結果を示す（図 2-4-62・63）。判定結果を観察すると、西側より東側の損傷が著しいことが分かるが、3階については損傷にバラツキがない。

表 2-4-52 損傷度と損傷と内容

損傷度	損傷
0	無被害
I	ひび割れ幅 0.2 mm以下
II	ひび割れ幅 0.2 mm～1 mm
III	ひび割れ幅 0.2 mm～1 mm：コンクリートの剥落は限定的
IV	ひび割れ幅 2 mm以上：コンクリートの剥落
V	鉄筋の座屈や破断・軸方向の縮み



損傷度Ⅲ



損傷度Ⅳ



柱 損傷度Ⅲ

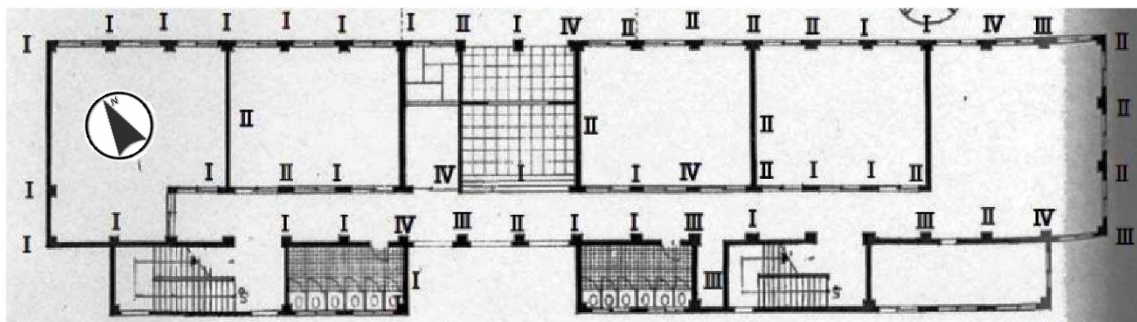


柱 損傷度Ⅳ

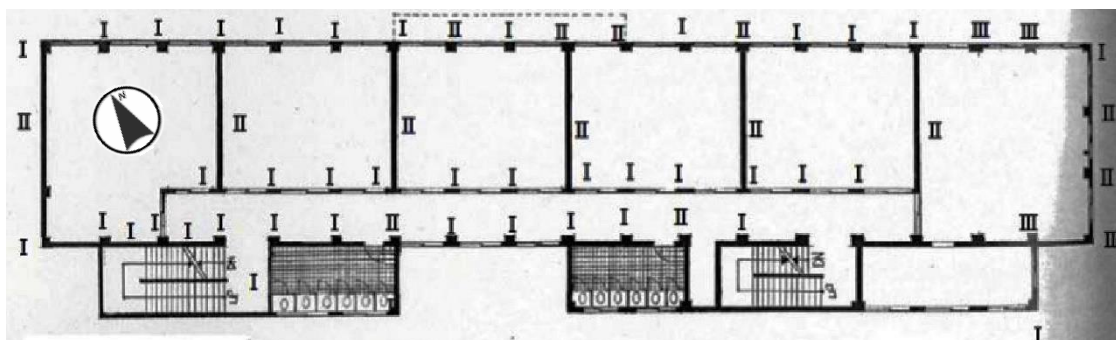


壁 損傷度Ⅳ

写真 2-4-117 構造性能グレードの例

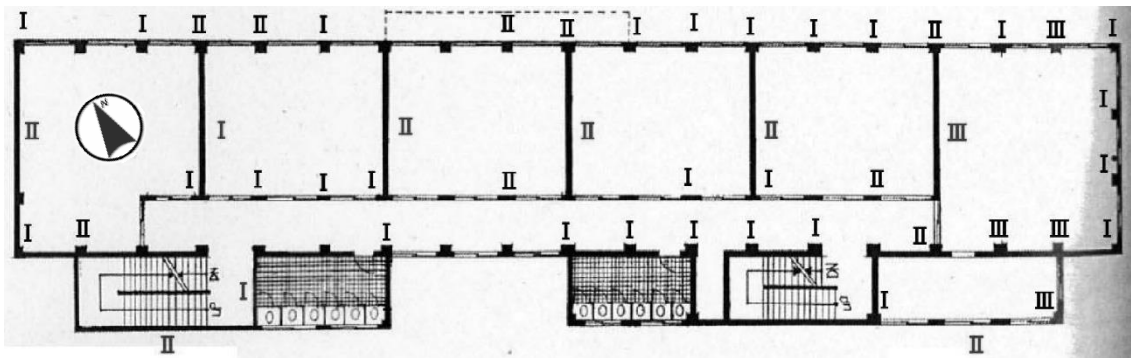


70号棟被災度区分判定結果 (1階)

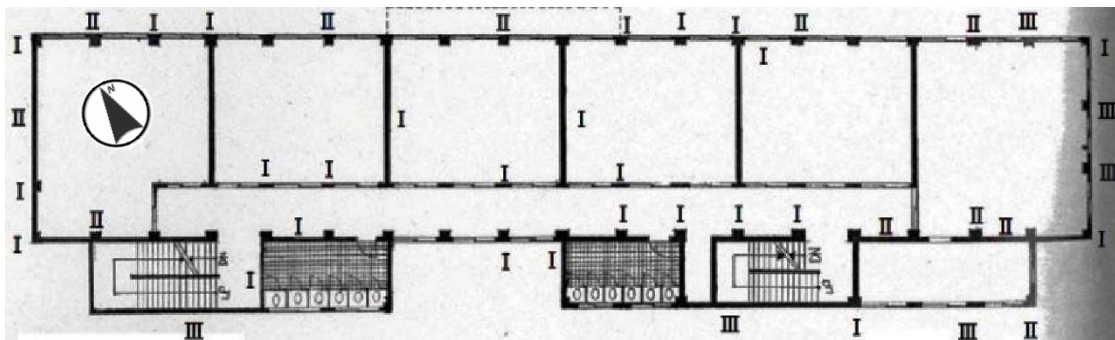


70号棟被災度区分判定結果 (2階)

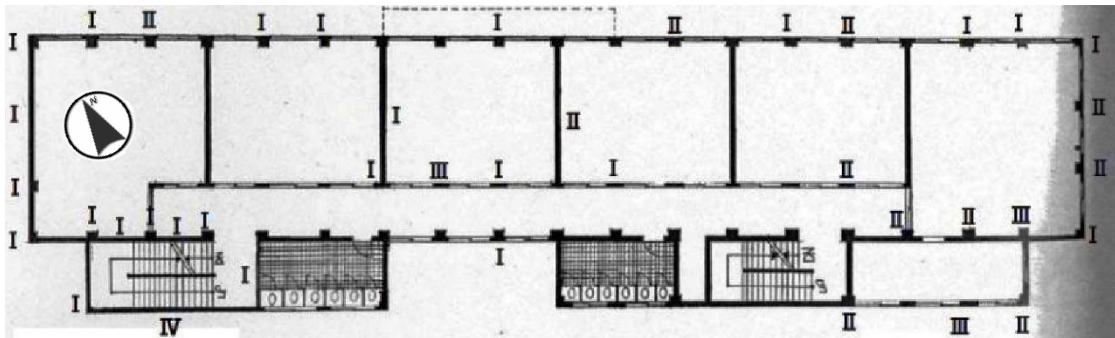
図 2-4-62 70号棟被災度区分判定結果 (1階・2階)



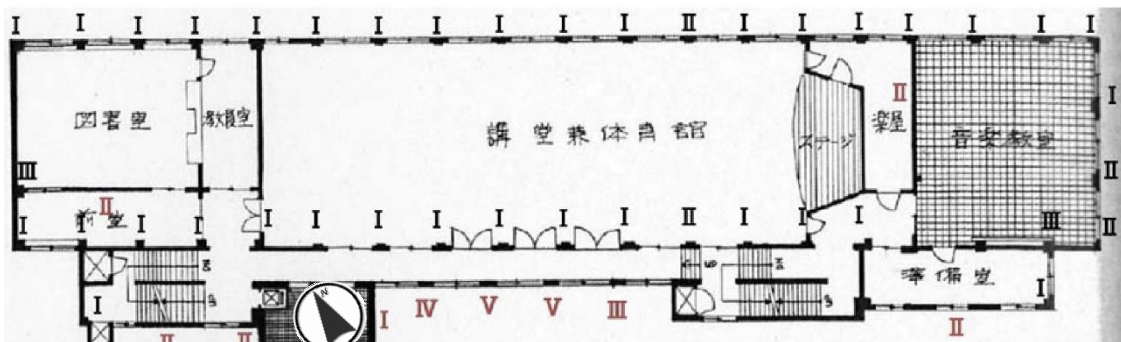
70号棟被災度区分判定結果（3階）



70号棟被災度区分判定結果（4階）



70号棟被災度区分判定結果（5階）



70号棟被災度区分判定結果（6階）

図 2-4-63 70号棟被災度区分判定結果（3階～6階）

④劣化グレード算出

劣化グレードを算出した表を以下に示す（表 2-4-53・54）。集計結果を見ると、耐震性能残存率は最も低い2階で71.7%、最も高い5階で94.3%であった。また、損傷の判定は2階が「中破」であったが、それ以外の階は「小破」であった。

耐震性能残存率 R	被災度
$R=100$	無被害
$95 \leq R < 95$	軽微
$80 \leq R < 95$	小破
$60 \leq R < 80$	中破
$R < 60$	大破



表 2-4-53 損傷度集計表 (1 階~3 階)

表 損傷度の集計 (1 階)

	せん断柱		曲げ柱		柱なし壁		柱型付壁		両側柱付壁		合計										
総部材数	61	+	0	+	3	+	5	+	25	=											
調査部材数	61	+	0	+	3	+	5	+	25	=											
	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 2	+	25 × 6	=	224										
損傷度 0	14	×	1	+	0	×	1	+	2	×	1	+	5	×	2	+	21	×	6	=	152
損傷度 I	23	×	0.95	+	0	×	0.95	+	0	×	0.95	+	0	×	1.9	+	1	×	6	=	27.55
損傷度 II	14	×	0.6	+	0	×	0.75	+	0	×	0.6	+	0	×	1.2	+	3	×	4	=	19.2
損傷度 III	5	×	0.3	+	0	×	0.5	+	1	×	0.3	+	0	×	0.6	+	0	×	2	=	1.8
損傷度 IV	5	×	0	+	0	×	0.1	+	0	×	0	+	0	×	0	+	0	×	0	=	0
損傷度 V	0	×	0	+	0	×	0.0	+	0	×	0	+	0	×	0	+	0	×	0	=	0
											$\Sigma A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 =$	200.55									
											耐震性能残存率 =	$\Sigma A_j / A_{org} =$	89.5	小破							

表 損傷度の集計 (2 階)

	せん断柱		曲げ柱		柱なし壁		柱型付壁		両側柱付壁		合計										
総部材数	60	+	0	+	1	+	5	+	26	=											
調査部材数	60	+	0	+	1	+	5	+	26	=											
	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 2	+	調査部材数 × 6	=	227										
損傷度 0	12	×	1	+	0	×	1	+	5	×	2	+	10	×	6	=	83				
損傷度 I	37	×	0.95	+	0	×	0.95	+	0	×	0.95	+	0	×	1.9	+	3	×	6	=	52.25
損傷度 II	9	×	0.6	+	0	×	0.75	+	0	×	0.6	+	0	×	1.2	+	6	×	4	=	27
損傷度 III	2	×	0.3	+	0	×	0.5	+	0	×	0.3	+	0	×	0.6	+	0	×	2	=	0.6
損傷度 IV	0	×	0	+	0	×	0.1	+	0	×	0	+	0	×	0	+	0	×	0	=	0
損傷度 V	0	×	0	+	0	×	0.0	+	0	×	0	+	0	×	0	+	0	×	0	=	0
											$\Sigma A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 =$	162.85									
											耐震性能残存率 =	$\Sigma A_j / A_{org} =$	71.7	中破							

表 損傷度の集計 (3 階)

	せん断柱		曲げ柱		柱なし壁		柱型付壁		両側柱付壁		合計										
総部材数	60	+	0	+	1	+	5	+	26	=											
調査部材数	60	+	0	+	1	+	5	+	26	=											
	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 2	+	調査部材数 × 6	=	227										
損傷度 0	21	×	1	+	0	×	1	+	1	×	1	+	3	×	2	+	19	×	6	=	142
損傷度 I	26	×	0.95	+	0	×	0.95	+	0	×	0.95	+	2	×	1.9	+	2	×	6	=	39.9
損傷度 II	9	×	0.6	+	0	×	0.75	+	0	×	0.6	+	0	×	1.2	+	4	×	4	=	19.8
損傷度 III	4	×	0.3	+	0	×	0.5	+	0	×	0.3	+	0	×	0.6	+	1	×	2	=	3
損傷度 IV	0	×	0	+	0	×	0.1	+	0	×	0	+	0	×	0	+	0	×	0	=	0
損傷度 V	0	×	0	+	0	×	0.0	+	0	×	0	+	0	×	0	+	0	×	0	=	0
											$\Sigma A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 =$	204.7									
											耐震性能残存率 =	$\Sigma A_j / A_{org} =$	90.2	小破							

表 2-4-54 損傷度集計表 (3階~6階)

表 損傷度の集計 (4階)

	せん断柱		曲げ柱		柱なし壁		柱型付壁		両側柱付壁		合計
総部材数	61	+	0	+	1	+	5	+	25	=	
調査部材数	61	+	0	+	1	+	5	+	25	=	
	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 2	+	25 × 6	=	222
損傷度 0	28 × 1	+	0 × 1	+	1 × 1	+	2 × 2	+	19 × 6	=	147
損傷度 I	22 × 0.95	+	0 × 0.95	+	0 × 0.95	+	0 × 1.9	+	3 × 6	=	38
損傷度 II	8 × 0.6	+	0 × 0.75	+	0 × 0.6	+	0 × 1.2	+	3 × 4	=	15.6
損傷度 III	3 × 0.3	+	0 × 0.5	+	1 × 0.3	+	0 × 0.6	+	0 × 2	=	2.7
損傷度 IV	5 × 0	+	0 × 0.1	+	0 × 0	+	0 × 0	+	0 × 0	=	0
損傷度 V	0 × 0	+	0 × 0.0	+	0 × 0	+	0 × 0	+	0 × 0	=	0
	$\Sigma A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 203.3$										
	耐震性能残存率 = $\frac{\Sigma A_j}{A_{org}} = \frac{203.3}{91.6} = 91.6$ 小破										

表 損傷度の集計 (5階)

	せん断柱		曲げ柱		柱なし壁		柱型付壁		両側柱付壁		合計
総部材数	60	+	0	+	1	+	5	+	26	=	
調査部材数	60	+	0	+	1	+	5	+	26	=	
	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 2	+	調査部材数 × 6	=	227
損傷度 0	31 × 1	+	0 × 1	+	1 × 1	+	3 × 2	+	21 × 6	=	164
損傷度 I	18 × 0.95	+	0 × 0.95	+	0 × 0.95	+	0 × 1.9	+	4 × 6	=	39.9
損傷度 II	9 × 0.6	+	0 × 0.75	+	0 × 0.6	+	0 × 1.2	+	1 × 4	=	9
損傷度 III	2 × 0.3	+	0 × 0.5	+	0 × 0.3	+	0 × 0.6	+	0 × 2	=	1.2
損傷度 IV	0 × 0	+	0 × 0.1	+	0 × 0	+	0 × 0	+	0 × 0	=	0
損傷度 V	0 × 0	+	0 × 0.0	+	0 × 0	+	0 × 0	+	0 × 0	=	0
	$\Sigma A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 214.1$										
	耐震性能残存率 = $\frac{\Sigma A_j}{A_{org}} = \frac{214.1}{94.3} = 94.3$ 小破										

表 損傷度の集計 (6階)

	せん断柱		曲げ柱		柱なし壁		柱型付壁		両側柱付壁		合計
総部材数	56	+	0	+	1	+	4	+	12	=	
調査部材数	56	+	0	+	1	+	4	+	12	=	
	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 1	+	調査部材数 × 2	+	調査部材数 × 6	=	137
損傷度 0	9 × 1	+	0 × 1	+	0 × 1	+	1 × 2	+	11 × 6	=	77
損傷度 I	35 × 0.95	+	0 × 0.95	+	1 × 0.95	+	0 × 1.9	+	0 × 6	=	34.2
損傷度 II	5 × 0.6	+	0 × 0.75	+	0 × 0.6	+	3 × 1.2	+	1 × 4	=	10.2
損傷度 III	4 × 0.3	+	0 × 0.5	+	0 × 0.3	+	0 × 0.6	+	0 × 2	=	1.2
損傷度 IV	3 × 0	+	0 × 0.1	+	0 × 0	+	0 × 0	+	0 × 0	=	0
損傷度 V	0 × 0	+	0 × 0.0	+	0 × 0	+	0 × 0	+	0 × 0	=	0
	$\Sigma A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 122.6$										
	耐震性能残存率 = $\frac{\Sigma A_j}{A_{org}} = \frac{122.6}{89.5} = 89.5$ 小破										

### ⑤ 3次元弾性 FEM 解析

建物全体の現況劣化度を整理するために、基礎の劣化度について、基礎杭と建物最下層をモデル化した 3次元弾性 FEM 解析によって基礎の劣化度の算出を行った。

解析の方法は、まず最初に解析対象（基礎杭と建築物最下層の地中梁及びスラブ）の 3次元弾性モデル（立体）を作成した後、建物の固定加重を壁・柱・梁・床版・階段室に分けて計算する。その後、建物の基礎の鉛直及び水平方向の耐荷性能を評価するために解析ケースを設定して照査を行い基礎全体の安定性の評価を行った。

#### ⑤-1 解析対象のモデル化

基礎杭（コンクリート製）と建築物最下層の地中梁及びスラブを対象とし、3次元（立体）の弾性モデルとした（表 2-4-55・図 2-4-64）。

表 2-4-55 部材のモデル化方法

	部材	材料	モデル要素	備考
1	基礎杭	鉄筋コンクリート	梁（棒）要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭 1 本ずつモデル化する</li> <li>・現状に応じて</li> <li>・建設当時の鉄筋配置を推定する</li> <li>・フーチングは剛体とみなす</li> </ul>
2	地中梁	鉄筋コンクリート	梁（棒）要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断面寸法から鉄筋配置を推定する</li> </ul>
3	スラブ	鉄筋コンクリート	シェル要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋はモデル化しない</li> </ul>
4	地盤	土	バネ要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭の根入れ状況を考慮する</li> </ul>

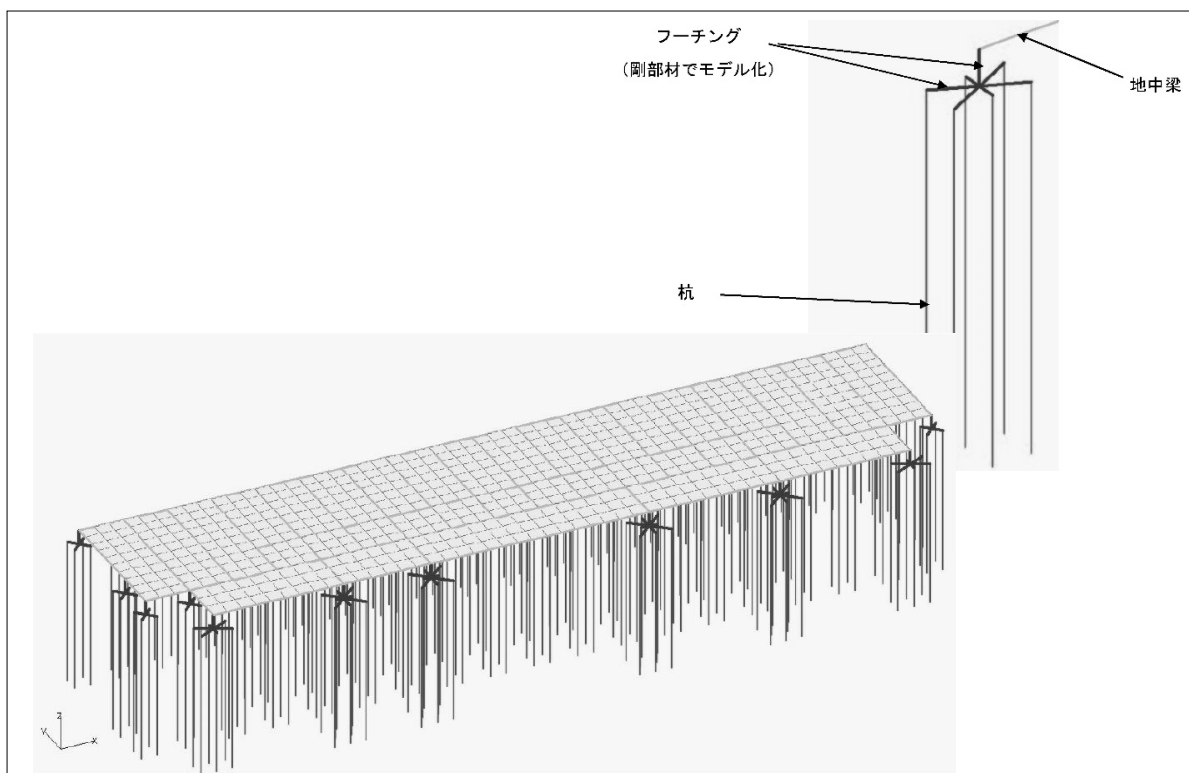


図 2-4-64 3次元弾性 FEM 解析モデル（全体・基礎杭及びフーチング）

⑤-2 固定荷重（死荷重）の計算

建物の固定荷重について、壁、柱、梁、床版、階段室に分けて、それぞれの重量を計算した。算出した固定荷重の結果を表 2-4-56 に示す。地震時の慣性力を算出するとき、解析モデルでは、各階の分担重量を床版位置に集中重量としてモデル化する。各階の分担重量の集計については、壁、柱、階段室の重量を半分ずつそれぞれ上下階に振り分け、そのうえ、当階の梁、床版の重量を加えることとした。表 2-4-56 に示した「各階重量集計  $W_i$  (kN)」の項目は、上記の計算方法で算出した結果である。固定荷重計算に当たり、主に表 2-4-56 の注記①～⑥に示した仮定に基づいて算出した。建物の高さについては、図 2-4-65 に示した図面資料に基づいて、スケーリングして算出した。

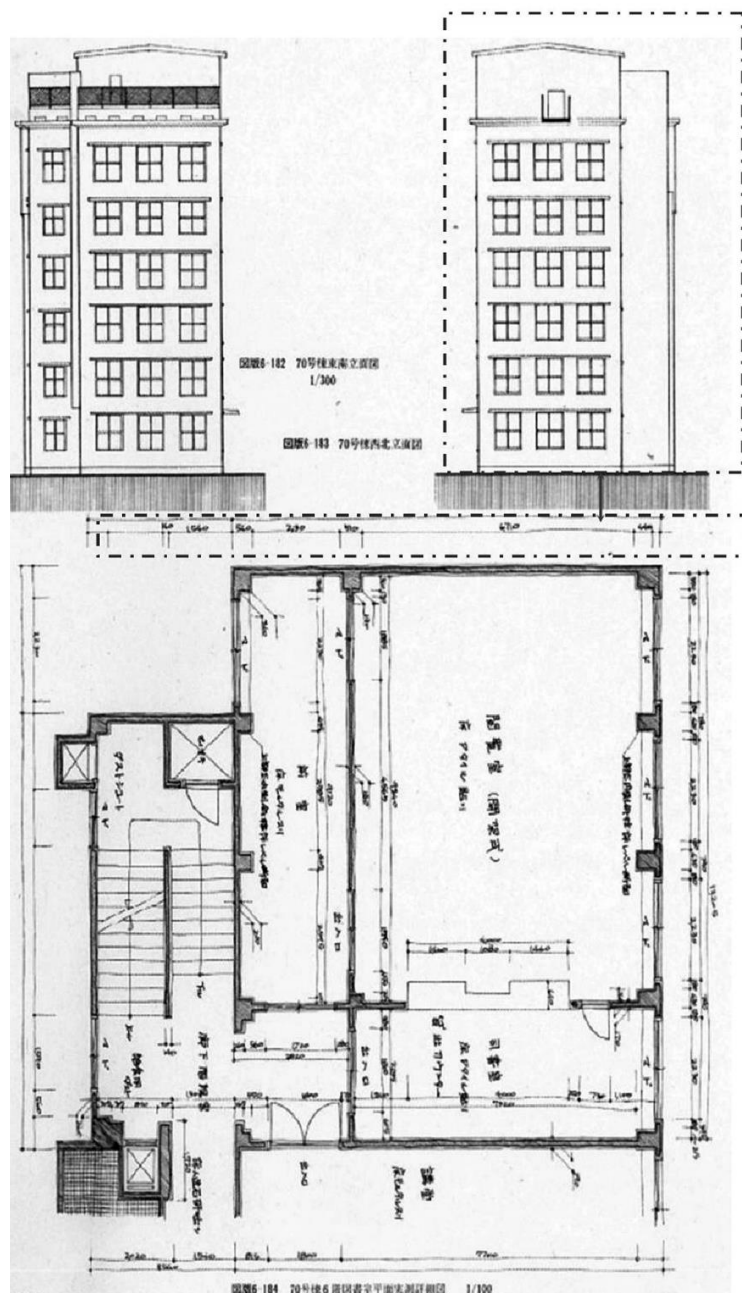


図 2-4-65 『軍艦島実測調査資料集』(阿久井他 1984)

表 2-4-56 固定荷重の計算結果

階級	各階重量集計 Wi (kN)	壁					柱						梁						床版						階段室								
		高さ Hw注7 (m)	壁面積 (控除前) Sw(m <sup>2</sup> )	厚さ Bw注1 (m)	窓面積 (控除) S'w(m <sup>2</sup> )	体積 合計 (m <sup>3</sup> )	高さ Hp(m)	柱(種類1)注2			柱(種類2)注2			体積 合計 (m <sup>3</sup> )	長手方向 (桁行き方向) 注3			短手方向 (梁間方向) 注3			体積 合計 (m <sup>3</sup> )	厚さ Bs注4 (m)	トイレと準備室 を除く		トイレと準備室		面積 合計 (m <sup>2</sup> )	体積 合計 (m <sup>3</sup> )	幅 HK(m)	長さ LK(m)	面積 AK(m <sup>2</sup> )	単位 面積 重量 注5 (kN/m <sup>2</sup> )	重量 WK(kN)
								幅 Ap(m)	厚さ Bp(m)	本数	幅 Ap(m)	厚さ Bp(m)	本数		高さ HG(m)	長さ LG(m)	幅 BG(m)	高さ HG(m)	長さ LG(m)	幅 BG(m)			幅 Hs(m)	長さ Ls(m)	幅 Hs(m)	長さ Ls(m)							
屋根	3.673																					0.10	45.825	10.53			482.54	48.25					
7注6	7.489	4.30	883.62	0.15	191.16	103.87	4.30							0.35	139.86	0.32	0.65	61.99	0.25	13.69	0.20	55.01	10.53	3.56	22.65	659.89	131.98	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83	
6	7.999	5.00	920.01	0.20	214.91	141.02	5.00	0.55	0.43	46			54.40	0.35	155.40	0.32	0.65	75.39	0.25	15.94	0.20	55.01	10.53	3.56	22.65	649.01	129.80	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83	
5	7.502	3.60	727.45	0.20	231.52	99.19	3.60	0.55	0.55	48	0.30	0.30	14	56.81	0.35	155.40	0.32	0.65	75.39	0.25	15.94	0.20	55.01	10.53	3.56	22.65	644.11	128.82	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83
4	7.502	3.60	727.45	0.20	231.52	99.19	3.60	0.55	0.55	48	0.30	0.30	14	56.81	0.35	155.40	0.32	0.65	75.39	0.25	15.94	0.20	55.01	10.53	3.56	22.65	644.11	128.82	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83
3	7.673	3.60	727.45	0.20	231.52	99.19	3.60	0.55	0.55	48	0.30	0.30	14	56.81	0.35	155.40	0.32	0.65	75.39	0.25	15.94	0.20	55.01	10.53	3.56	22.65	644.11	128.82	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83
2	8.442	3.60	727.45	0.20	231.52	99.19	3.60	0.70	0.55	48	0.30	0.30	14	71.06	0.35	155.22	0.32	0.65	77.03	0.25	15.88	0.20	55.01	10.53	3.56	22.65	640.15	128.03	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83
1	16.138	4.30	900.81	0.20	216.32	136.9	4.30	0.70	0.55	48	0.30	0.30	14	84.88	1.15	155.22	0.55	1.15	77.03	0.55	99.99	0.35	55.01	10.53	3.56	22.65	640.15	224.05	3.56	16.61	59.13	4.80	283.83

注1：壁の厚さは、1～6階を一般的な暑さ20cmのコンクリート壁と仮定した。7階については、鉄骨部材が入っているが、厚さ15センチのコンクリート壁の重量に相当するものと仮定した。

注2：柱の寸法は、現場調査時の簡易計測値に基づいて2種類に分けて仮定した。

注3：梁の寸法は、現場調査時の簡易計測値に基づいて、長手方向（桁行き方向）、短手方向（梁間方向）に分けてそれぞれ仮定した。

注4：床版の厚さは、1階は現場調査時の簡易計測値で、他の階は一般的な暑さ20cmと仮定した。屋根については、厚さ10センチのコンクリートの重量に相当すると仮定した。

注5：階段室については、厚さ20cmのコンクリートの重量に相当する単位面積重量（=24kN/m<sup>3</sup>×0.2m=4.80kN/m<sup>2</sup>）と仮定した。

注6：7階の鉄骨部分は、現場調査の写真に基づいて寸法等を仮定し、重量を算出した。

注7：建物の高さについては、図面資料に基づいてスケールリングして算出した。

### ⑤-3 解析ケースの設定及び載荷荷重のモデル化

建物の基礎に求めるべく鉛直及び水平方向の耐荷性能を評価するために、解析ケースを表 2-4-57 のとおり設定した。また、載荷荷重のモデル化を表 2-4-58 の方法で行った。

表 2-4-57 解析ケース

解析ケース	解析条件	調査項目	備考
0	竣工当時の復元	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎の安定性</li> <li>・杭の支持力</li> <li>・杭の応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常時（死荷重のみ）</li> <li>・基礎が健全な場合を確認する（⇒モデル化の妥当性を確認する）</li> </ul>
1	現状	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎の安定性</li> <li>・杭の支持力</li> <li>・杭の応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常時（死荷重のみ）</li> <li>・理論上の破壊状態（劣化度）を判定する</li> <li>・復旧対策工施工時の留意点を抽出する</li> </ul>
2	復旧対策施工後	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎の安定性</li> <li>・杭の支持力</li> <li>・杭の応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常時（死荷重のみ）</li> <li>・復旧対策稿の効果を確認する（⇒保存管理上の留意点を抽出する）</li> </ul>
3 (3.1~3.4)	復旧対策施工後 (レベル1地震時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭の支持力</li> <li>・杭の応力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・常時（死荷重）＋地震時（水平荷重）</li> <li>・地震力は4方向からそれぞれ入力する（長辺両方向、短辺両方向）</li> </ul>

表 2-4-58 載荷荷重のモデル化方法

1	死荷重	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存の資料に基づいて上層部の重量を算出する</li> <li>・算出した重量を等分布し、スラブ上に鉛直下向きに作用させる</li> </ul>
2	地震力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各階の地震時の相当の水平方向慣性力を作用させることで、最下層に作用するせん断力及び曲げモーメントを算出する</li> <li>・算出したせん断力及び曲げモーメントを最下層に作用させる</li> </ul> ※レベル1地震動の評価は、建築基準法に基づいて行う

### ⑤-4 解析ケース0（竣工当時の復元）結果

建物の竣工当時の復元は、常時荷重に対して行った。また、建物の竣工当時の復元解析に当たり、固定荷重のほか、積載荷重を加えた。積載荷重は、建築基準法に基づき、「大ばり、柱又は基礎の構造計算をする場合」で「室の種類」を教室」とした場合の値：2,100N/m<sup>2</sup>を用いている。杭の仕様については、現場調査で確認した結果、杭の外径D=500mmであった。よって、当時の状況を勘案して、厚さ80mmの中空既製杭と仮定した。杭の配筋については、露出した鉄筋の状況から、軸方向φ13mmの丸鋼鉄筋8本と仮定した。解析に用いた材料特性値の設定を表 2-4-59 に、照査項目と照査結果を表 2-4-60～63 に示す。

照査結果をまとめると、諸仮定のもとで行った竣工当時の復元設計は、杭の応力、支持力及び基礎全体の安定性はすべてOKであり安全であったと言える。

表 2-4-59 材料特性値の設定

項目		記号	長期	短期	備考
コンクリート (梁・床版)	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ck}$	24		仮定
	弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$	23004		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 51（解 5.1）より
	ポアソン比	$\nu$	0.2		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 50（表 5.1）より
	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$	24		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 59（表 7.1）より
コンクリート (杭)	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ck}$	40		仮定（JIS・A・5372 より）
	弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$	28058		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 51（解 5.2）より
	ポアソン比	$\nu$	0.2		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 50（表 5.1）より
	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$	24.5		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 59（表 7.1）より
	許容曲げ圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ca}$	13.3	26.6	「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 53（表 6.1）より
	許容せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_a$	0.890	1.335	「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 53（表 6.1）より
鉄筋	材質（主鉄筋、配力筋）	SR	235		「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 53（表 6.2）より
	許容引張・圧縮 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{s,a}$	155	235	「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（日本建築学会 2010 改訂）」 p 53（表 6.2）より

表 2-4-60 解析ケース 0 照査結果

照査項目		照査結果	所見
1	杭の曲げに関する 応力照査	OK	長手方向、短手方向について、それぞれ曲げモーメント最大値、軸力最大値、軸力最小値が生じた箇所に対して、応力照査を行った結果、許容応力度以下であり、OK の判断となった。よって、杭全体は、曲げに関する応力照査結果はすべて OK と判断できる。
2	杭のせん断に関する 応力照査	OK	長手方向、短手方向について、それぞれせん断力最大値が生じた箇所に対して、応力照査を行った結果、許容応力度以下であり、OK の判断となった。よって、杭全体は、せん断に関する応力照査結果はすべて OK と判断できる。
3	杭の支持力に関する 照査	OK	ボーリングデータがないため、中間層の摩擦抵抗を無視し、支持層は、N 値 40 の砂礫層で、杭の根入れを 2D (D=500mm 杭径) と仮定した。上記の地層構成で、安全側の設計となるように、「杭基礎設計便覧(平成 19 年 1 月)」に基づいて杭の許容支持力、許容引抜力を計算する。「FORUM8 の「杭基礎計算」プログラムより算出した杭 1 本当たりの常時許容支持力 $R_a=468\text{kN}$ 、許容引抜力 $P_a=17\text{kN}$ となった。 $P_{Nmax}(=433.9\text{kN}) < R_a(=468\text{kN})$ のため、すべての杭の支持力は OK と判断できる。なお、杭の引抜力は生じなかった。
4	基礎全体の安定性 に関する照査	OK	ここでは、底版の重心位置に対して、偏心距離 $e=M/N$ (M: 転倒モーメント、N: 基礎反力) を持って照査を行った。偏心距離の許容値は、直接基礎の常時の許容値 $B/6$ (B: 基礎幅) を用いた。照査の結果、長手方向、短手方向の偏心距離はそれぞれの許容値以下であったため、基礎全体の安定性は OK と判断できる。

表 2-4-61 杭のせん断力に関する応力照査結果

1) 短手方向

項目		杭断面特性			断面力 応答値	応力度 応答値	許容 応力度	照査結果	
		径 $\Phi$ (m)	壁厚 $t$ (m)	断面積 $A$ ( $m^2$ )	せん断力 $Q$ (kN)	平均せん断 応力度 $\tau_m$ ( $N/mm^2$ )	せん断 $\tau_a$ ( $N/mm^2$ )	せん断 $\tau_m/\tau_a$	せん断 照査
杭	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	0.95	0.009	0.890	0.010	OK

2) 長手方向

位置		杭断面特性			断面力 応答値	応力度 応答値	許容 応力度	照査結果	
		径 $\Phi$ (m)	壁厚 $t$ (m)	断面積 $A$ ( $m^2$ )	せん断力 $Q$ (kN)	平均せん断 応力度 $\tau_m$ ( $N/mm^2$ )	せん断 $\tau_a$ ( $N/mm^2$ )	せん断 $\tau_m/\tau_a$	せん断 照査
杭	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	0.95	0.009	0.890	0.010	OK



表 2-4-62 杭の曲げに関する応力照査結果

1)短手方向

項目	杭断面特性			断面力 応答値		応力度 応答値			許容 応力度			照査結果						
	径 Φ (m)	壁厚 t (m)	断面積 A (m <sup>2</sup> )	曲げ モーメント M (kN/m)	軸力 N (kN)	コンクリート 圧縮 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 引張 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 圧縮 σ <sub>s'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 曲げ 圧縮 σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 引張 σ <sub>sa</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 圧縮 σ <sub>sa'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 曲げ 圧縮 σ <sub>ca</sub> /σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 曲げ 圧縮 照査	鋼材 引張 σ <sub>s</sub> /σ <sub>sa</sub>	鋼材 引張 照査	鋼材 圧縮 σ <sub>s'</sub> /σ <sub>sa'</sub>	鋼材 圧縮 照査	
杭	曲げモーメント最大	0.5	0.08	0.1056	8.53	278.72	3.000	発生しない	-45.000	13.30	155.00	-155.00	0.226	OK	-	-	0.290	OK
	軸力最大	0.5	0.08	0.1056	0.36	433.91	3.600	発生しない	-54.000	13.30	155.00	-155.00	0.271	OK	-	-	0.348	OK
	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	1.53	0.95	1.200	発生しない	-18.600	13.30	155.00	-155.00	0.090	OK	-	-	0.120	OK

2)長手方向

項目	杭断面特性			断面力 応答値		応力度 応答値			許容 応力度			照査結果						
	径 Φ (m)	壁厚 t (m)	断面積 A (m <sup>2</sup> )	曲げ モーメント M (kN/m)	軸力 N (kN)	コンクリート 圧縮 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 引張 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 圧縮 σ <sub>s'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 曲げ 圧縮 σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 引張 σ <sub>sa</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材 圧縮 σ <sub>sa'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 曲げ 圧縮 σ <sub>ca</sub> /σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート 曲げ 圧縮 照査	鋼材 引張 σ <sub>s</sub> /σ <sub>sa</sub>	鋼材 引張 照査	鋼材 圧縮 σ <sub>s'</sub> /σ <sub>sa'</sub>	鋼材 圧縮 照査	
杭	曲げモーメント最大	0.5	0.08	0.1056	3.17	272.83	2.500	発生しない	-37.600	13.30	155.00	-155.00	0.188	OK	-	-	0.243	OK
	軸力最大	0.5	0.08	0.1056	0.06	433.91	3.600	発生しない	-53.600	13.30	155.00	-155.00	0.271	OK	-	-	0.346	OK
	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	0.97	135.16	1.200	発生しない	-17.900	13.30	155.00	-155.00	0.090	OK	-	-	0.115	OK

表 2-4-63 基礎全体の安定性に関する照査結果

基礎反力	転倒モーメント合計		底版偏心距離		底版計算幅(柱芯)		偏心距離許容値		基礎全体安定照査結果	
	長手方向 (kN・m)	短手方向 (kN・m)	長手方向 ex(m)	短手方向 ey(m)	長手方向幅 Bx(m)	短手方向幅 By(m)	長手方向 Bx/6	短手方向 By/6	長手方向 (ex<Bx/6)	短手方向 (ey<By/6)
74,316.16	-12,265.32	-9,383.83	0.165	0.126	54.460	13.39	9.077	2.232	OK	OK

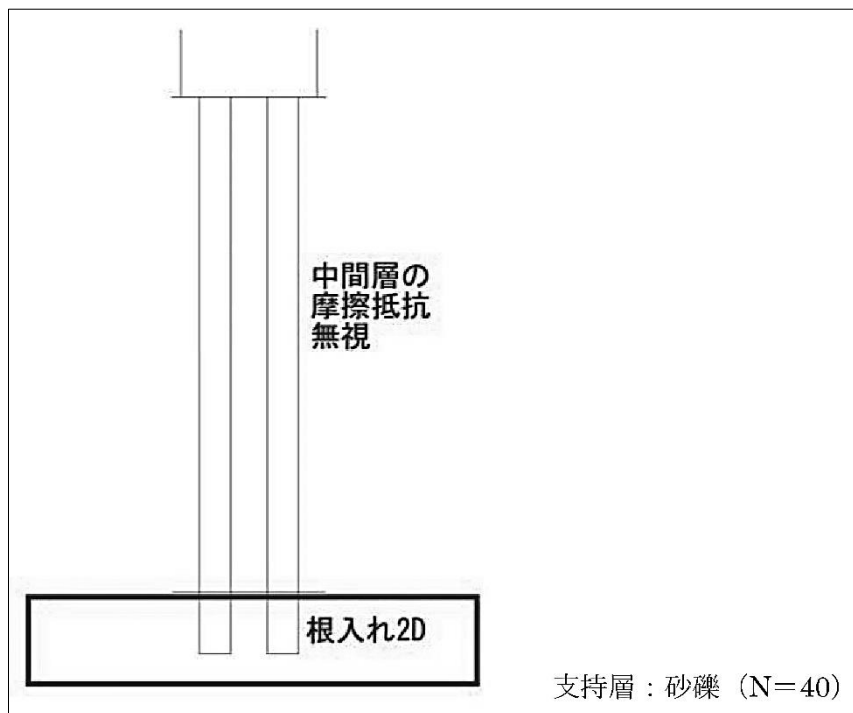
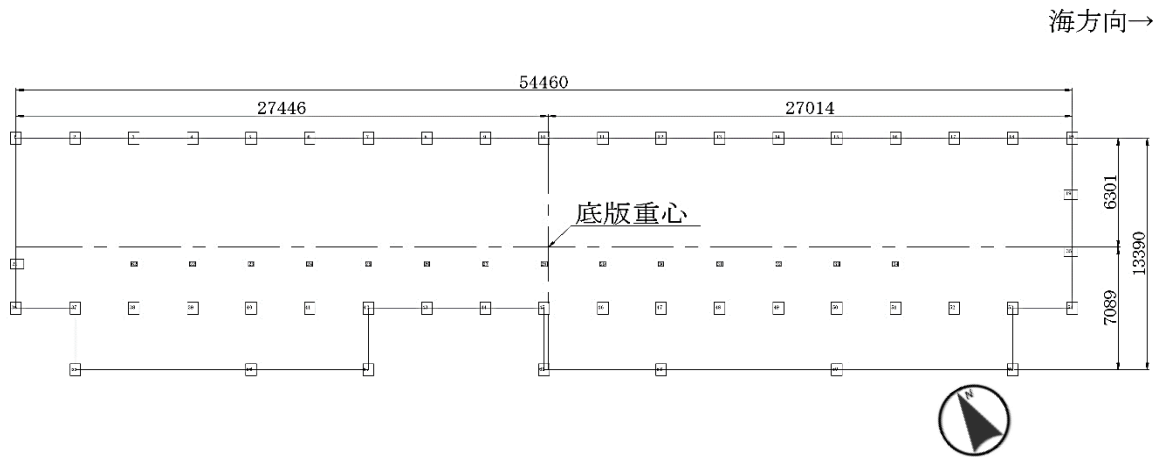


図 2-4-66 杭の支持力算定に関する地層構成の仮定

⑤-5 解析ケース1 (現状) 結果

まず、杭健全度の調査結果を図 2-4-67 に示す。杭健全度の調査結果に基づき、消失した杭、機能を失った杭を竣工当時の復元解析モデルから除き、現状解析のモデルを作成した。現状の解析及び照査は常時とし、人が入らないため積載荷重を考慮せず、固定荷重のみとした。照査項目と照査結果を表 2-4-64~67 及び図 2-4-68~70 に示す。

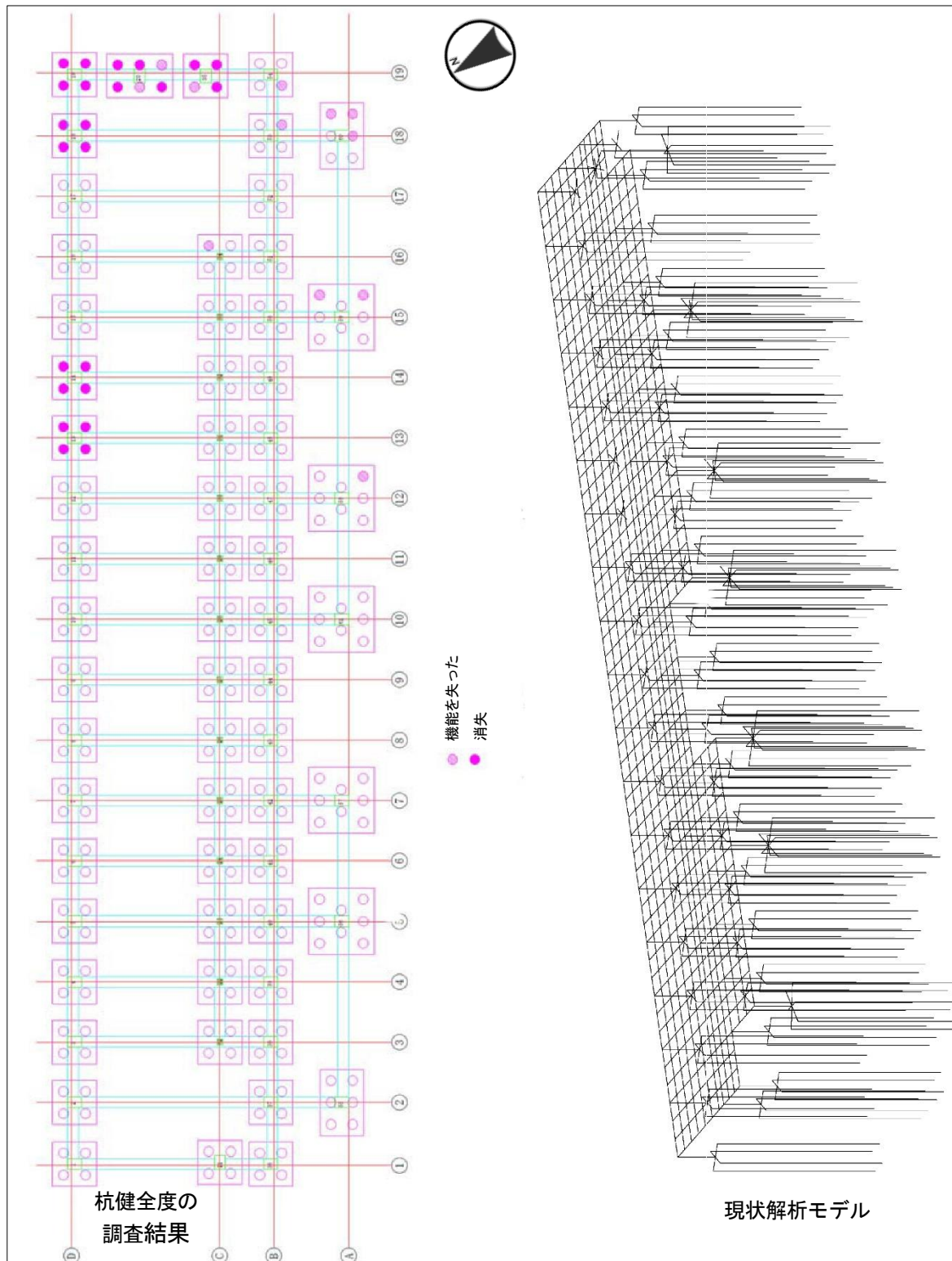


図 2-4-67 杭健全度の調査結果・現状解析モデル

表 2-4-64 解析ケース 1 照査結果

照査項目		照査結果	所見
1.	杭の曲げに関する応力照査	NG	長手方向、短手方向について、それぞれ曲げモーメント最大値、軸力最小値が生じた箇所に対して、応力照査を行った結果、許容応力度を超えたこととなり、NGの判断となった。
2.	杭のせん断に関する応力照査	OK	長手方向、短手方向について、それぞれせん断力最大値が生じた箇所に対して、応力照査を行った結果、許容応力度以下であり、OKの判断となった。よって、杭全体は、せん断に関する応力照査結果はすべてOKと判断できる。
3.	杭の支持力に関する照査	—	解析ケース 0（竣工当時）で算出した杭 1 本当たりの常時許容支持力 $R_a=468\text{kN}$ 、許容引抜力 $P_a=17\text{kN}$ に対して、それぞれの許容値を超えた杭が確認された
4.	基礎全体の安定性に関する照査	OK	解析ケース 0（竣工当時）と同様、底版の重心位置に対して、偏心距離 $e=M/N$ ( $M$ : 転倒モーメント、 $N$ : 基礎反力) を持って照査を行った。偏心距離の許容値は、直接基礎の常時の許容値 $B/6$ ( $B$ : 基礎幅) を用いた。照査の結果、長手方向、短手方向の偏心距離、それぞれの許容値以下であったため、基礎全体の安定性は問題ないと判断できる。

表 2-4-65 せん断力に関する応力照査結果（現状）

1) 短手方向

項目	杭断面特性			断面力 応答値	応力度 応答値	許容 応力度	照査結果		
	径 $\Phi$ (m)	壁厚 $t$ (m)	断面積 $A$ ( $\text{m}^2$ )	せん断力 $Q$ (kN)	平均せん断 応力度 $\tau_m$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	せん断 $\tau_a$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	せん断 $\tau_m/\tau_a$	せん断 照査	
杭	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	22.70	0.215	0.890	0.242	OK

2) 長手方向

位置	杭断面特性			断面力 応答値	応力度 応答値	許容 応力度	照査結果		
	径 $\Phi$ (m)	壁厚 $t$ (m)	断面積 $A$ ( $\text{m}^2$ )	せん断力 $Q$ (kN)	平均せん断 応力度 $\tau_m$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	せん断 $\tau_a$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	せん断 $\tau_m/\tau_a$	せん断 照査	
杭	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	18.17	0.172	0.890	0.193	OK

表 2-4-66 杭の曲げに関する応力照査結果 (現状)

1)短手方向

位置		杭断面特性			断面力応答値		応力度応答値			許容応力度			照査結果					
		径Φ (m)	壁厚 t (m)	断面積 A (m <sup>2</sup> )	曲げモーメント M (kN/m)	軸力 N (kN)	コンクリート圧縮 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材引張 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材圧縮 σ <sub>s'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート曲げ圧縮 σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材引張 σ <sub>sa</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材圧縮 σ <sub>sa'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート曲げ圧縮 σ <sub>ca</sub> /σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート曲げ圧縮照査	鋼材引張 σ <sub>s</sub> /σ <sub>sa</sub>	鋼材引張照査	鋼材圧縮 σ <sub>s'</sub> /σ <sub>sa'</sub>	鋼材圧縮照査
杭	曲げモーメント最大	0.5	0.08	0.1056	204.33	1900.60	33.600	20.200	-488.200	13.30	155.00	-155.00	2.526	OUT	0.130	OK	3.150	OUT
	軸力最大	0.5	0.08	0.1056	0.67	2647.47	21.900	生じない	-327.700	13.30	155.00	-155.00	1.647	OUT	-	-	2.114	OUT
	軸力最小	0.5	0.08	0.1056	203.89	-774.02	27.500	2192.000	-332.100	13.30	155.00	-155.00	2.068	OUT	14.142	OUT	2.143	OUT

2)長手方向

位置		杭断面特性			断面力応答値		応力度応答値			許容応力度			照査結果					
		径Φ (m)	壁厚 t (m)	断面積 A (m <sup>2</sup> )	曲げモーメント M (kN/m)	軸力 N (kN)	コンクリート圧縮 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材引張 σ <sub>s</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材圧縮 σ <sub>s'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート曲げ圧縮 σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材引張 σ <sub>sa</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	鋼材圧縮 σ <sub>sa'</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート曲げ圧縮 σ <sub>ca</sub> /σ <sub>ca</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	コンクリート曲げ圧縮照査	鋼材引張 σ <sub>s</sub> /σ <sub>sa</sub>	鋼材引張照査	鋼材圧縮 σ <sub>s'</sub> /σ <sub>sa'</sub>	鋼材圧縮照査
杭	曲げモーメント最大	0.5	0.08	0.1056	163.57	466.84	25.400	567.900	-37.600	13.30	155.00	-155.00	1.910	OUT	3.664	OUT	2.266	OUT
	軸力最大	0.5	0.08	0.1056	9.09	2647.47	22.600	生じない	-53.600	13.30	155.00	-155.00	1.699	OUT	-	-	2.181	OUT
	せん断力最大	0.5	0.08	0.1056	10.01	-774.02		809.100	-17.900	13.30	155.00	-155.00			5.220	OUT	-	-

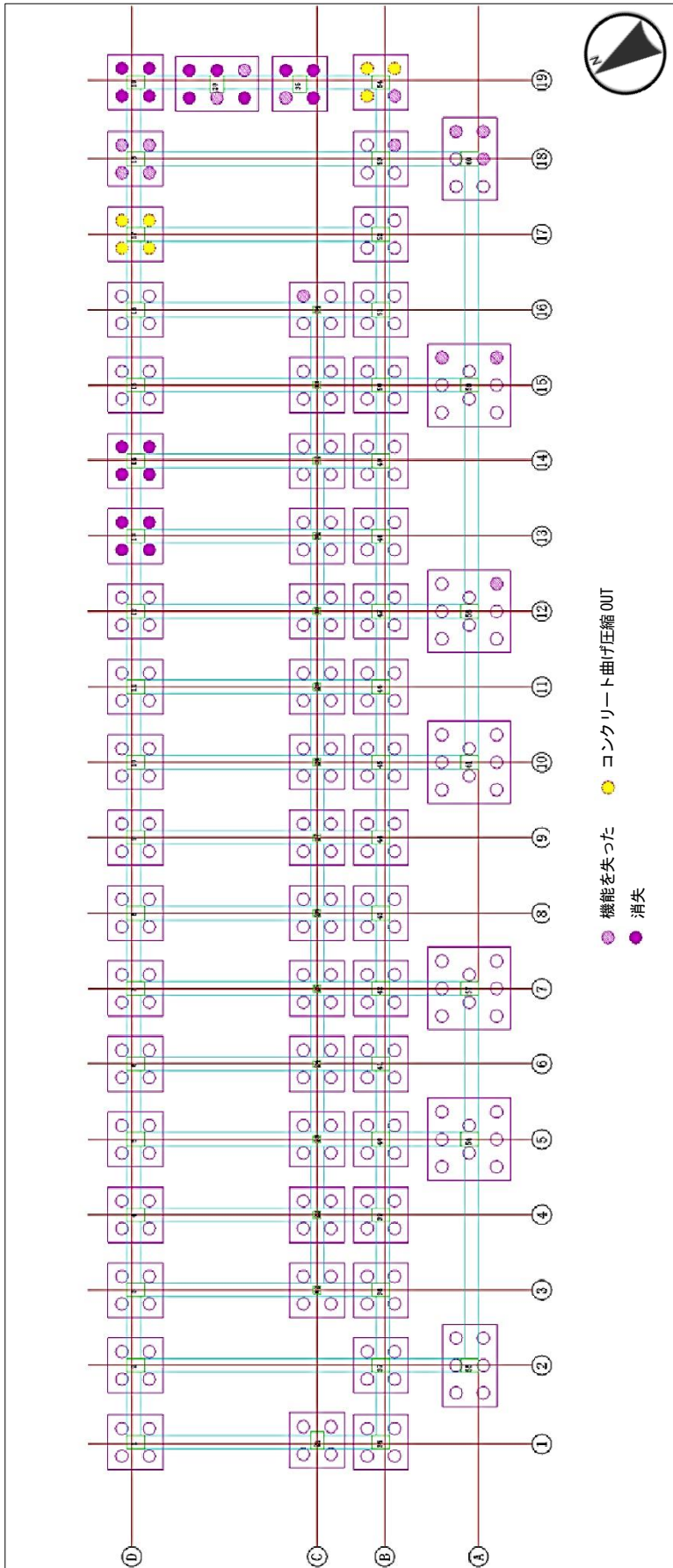


図 2-4-68 現状：杭の曲げ照査-コンクリート曲げ圧縮応力 OUT 箇所

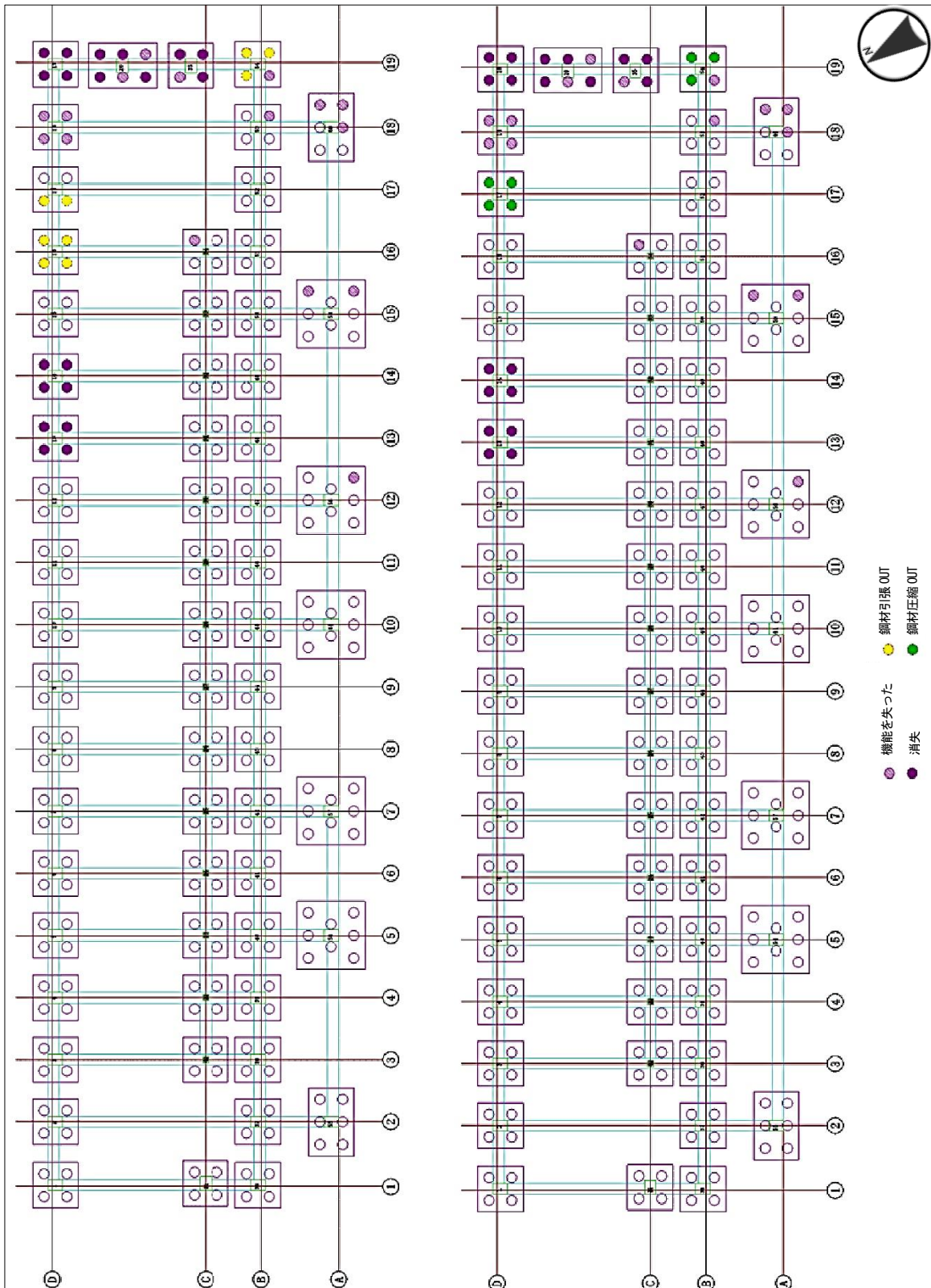


図 2-4-69 現状：杭の曲げ照査-鉄筋の引張/圧縮応力 OUT 箇所

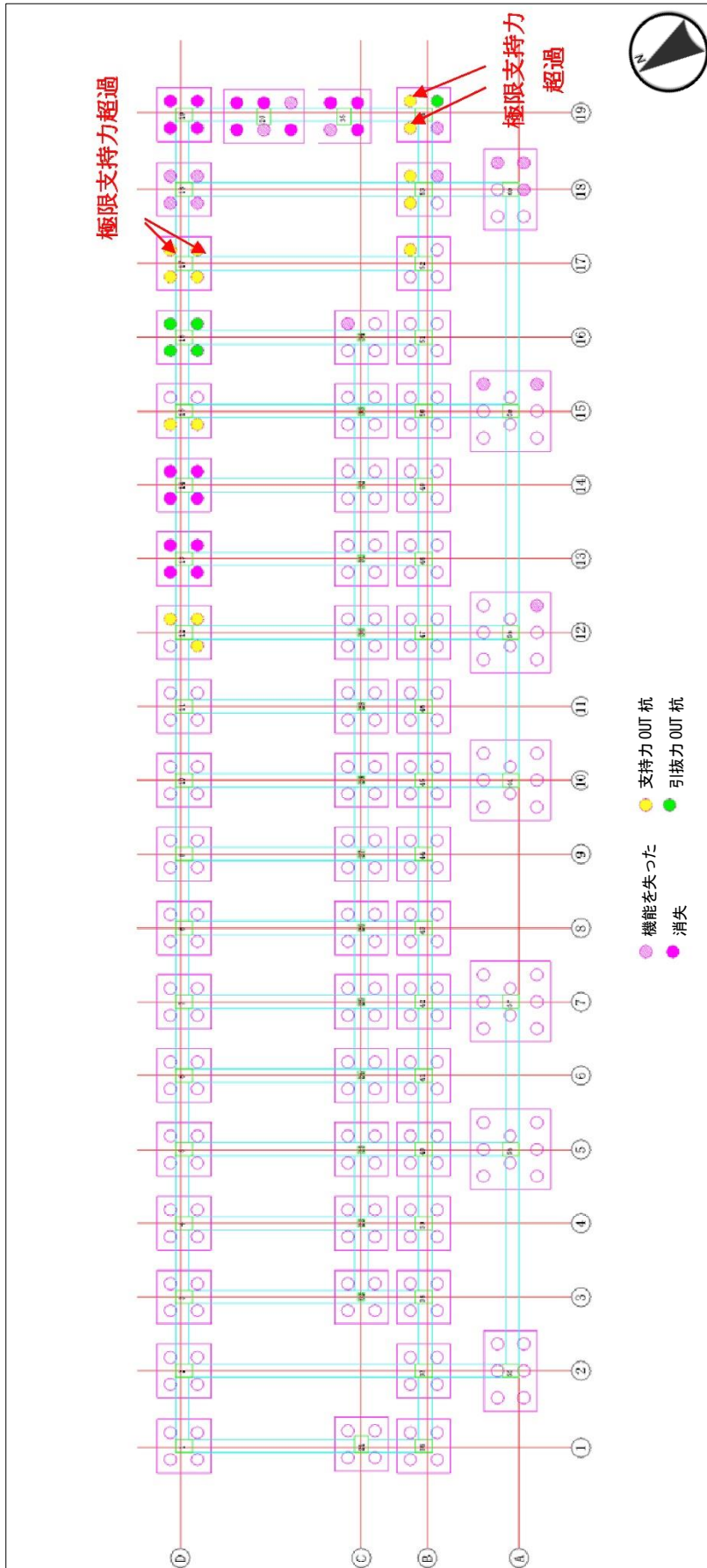
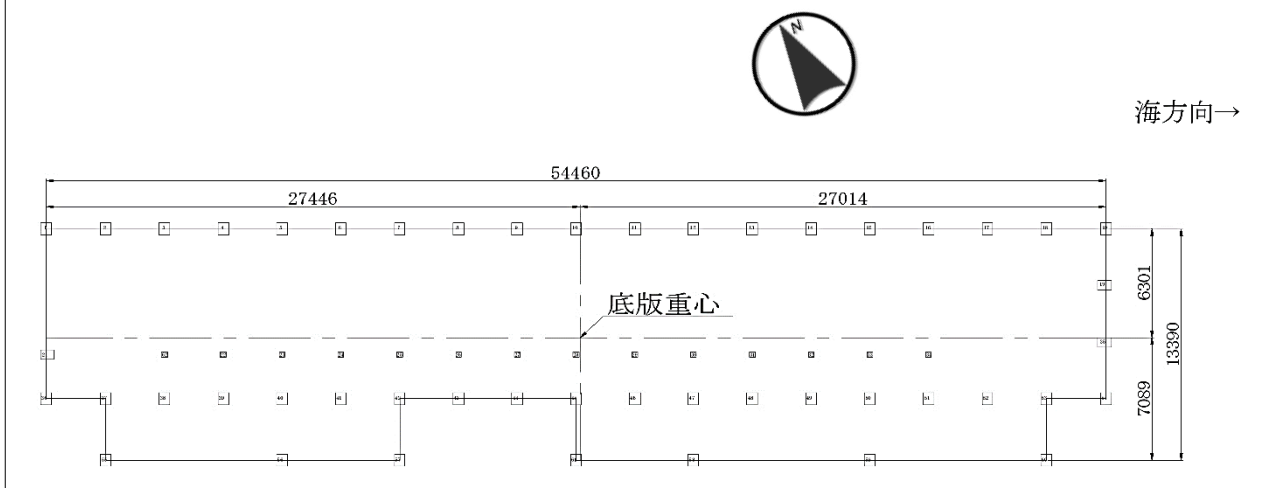


図 2-4-70 杭の支持力/引抜力 OUT 箇所



表 2-4-67 現状の基礎全体の安定性に関する照査結果

基礎反力	転倒モーメント合計		底版偏心距離		底版計算幅 (柱芯)		偏心距離許容値		基礎全体安定照査結果	
	N (kN)	長手方向 (kN・m)	短手方向 (kN・m)	長手方向 ex (m)	短手方向 ey (m)	長手方向幅 Bx (m)	短手方向幅 By (m)	長手方向 Bx/6	短手方向 By/6	長手方向 (ex<Bx/6)
74,316.16	-12,265.32	-9,383.83	0.165	0.126	54.460	13.39	9.077	2.232	OK	OK



⑥まとめ

70号棟について、変位調査、3次元レーザー計測を用いた傾きの調査、及び劣化度調査を行った。調査の結果、変位調査の結果は変位が確認されなかった。また、建物の傾きについては、2階以上に対して、1階部分が東に15~20mm程度、張り出していると考えられることが看取された。

建物の劣化については、多くの階で東側の劣化が著しいことが看取された他、南側より北側が劣化していた。その理由としては、東側及び北側は風雨や潮風を遮る建物が存在しないためと考えられる。

耐震性については、耐震性能残存率が最も低い2階で71.7%、最も高い5階で94.3%であった。また、損傷の判定は2階が「中破」であったが、それ以外の階は「小破」であった。そのため、耐震性に関しては緊急に処置を要する程低下していない。

基礎の現状での劣化度は、杭の曲げに関する応力がNG判定となった他、杭の支持力についても許容値を超えた杭が確認された。

(2) 劣化度調査

1) 調査概要

端島炭坑跡に存在する居住施設の現状把握のため、鉄筋コンクリート造建築物について、劣化状況を目視により調査し、「鉛直荷重支持性能残存率の評価結果」・「耐震性能残存率の評価結果」・「将来の鉛直荷重支持性能残存率及び耐震性能残存率の評価結果」をとりまとめた。

調査内容は以下の通りである。

- ・『軍艦島コンクリート建造物の劣化調査報告書』（2013年3月）において評価対象としなかった居住施設の劣化状況調査と耐用年数予測
- ・『軍艦島コンクリート建造物の劣化調査報告書』（2013年3月）において評価対象とした居住施設のうち劣化状況調査若しくは耐用年数予測のいずれかを実施していない建物を対象とした劣化状況調査と耐用年数予測
- ・居住施設のうち 劣化の進行抑制を図る優先順位が高い建物を対象とした構造安全性の評価

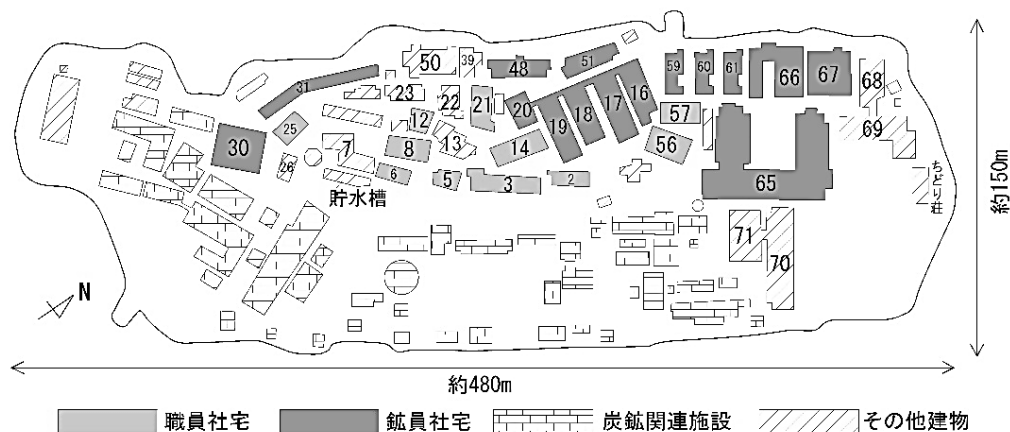


図 2-4-71 端島建物番号図

表 2-4-68 劣化度調査建物一覧表

建物名称	建設年	構造・階数	用途	建物名称	建設年	構造・階数	用途
2号棟	1950	RC造3階+半地下	職員社宅	51号棟	1961	RC造8階+半地下	鉱員社宅
3号棟	1959	RC造4階+半地下	職員社宅(幹部用・風呂付)	56号棟	1939	RC造3階	鉱員社宅
8号棟	1919	RC造+木造3階	職員社宅・共同浴場	57号棟	1939	RC造4階	鉱員社宅・商店
13号棟	1967	RC造4階	町営住宅(教職員用)	59号棟	1953	RC造5階+地下	鉱員社宅・地下購買会
14号棟	1941	RC造5階	職員住宅(中央住宅)	60号棟	1953	RC造5階+地下	鉱員社宅・地下購買会
16号棟	1918	RC造9階	鉱員社宅(日給社宅)	61号棟	1953	RC造5階+地下	鉱員社宅・共同浴場
17号棟	1918	RC造9階	鉱員社宅(日給社宅)	65号棟北	1945	RC造9階+地下	鉱員社宅
18号棟	1918	RC造9階	鉱員社宅(日給社宅)	65号棟東	1949	RC造9階+地下	鉱員社宅・屋上幼稚園

19号棟	1922	RC造9階	鉱員社宅(日給社宅)	65号棟南	1958	RC造10階	鉱員社宅
20号棟	1922	RC造6階	鉱員社宅(日給社宅)	66号棟	1940	RC造4階+地下	鉱員合宿(啓明寮)
21号棟	1954	RC造5階	鉱員社宅・警察派出所	67号棟	1950	RC造4階	鉱員合宿(単身寮)
22号棟	1953	RC造5階	町営住宅(公務員)・役場等	68号棟	1958	RC造2階	隔離病棟
25号棟	1931	RC造5階+地下	職員社宅・宿泊所	69号棟	1958	RC造4階	端島病院
30号棟	1916	RC造7階	旧鉱員社宅(下請社宅)	70号棟	1958	RC造+S造7階	端島小中学校
31号棟	1957	RC造6階+地下	鉱員社宅・郵便局・地下共同浴場	71号棟	1970	RC造+S造2階	体育館
39号棟	1964	RC造3階	公民館	ちどり荘	1958	木造モルタル造2階	教員用住宅
48号棟	1955	RC造5階+地下	鉱員社宅	貯水槽	-	-	-
50号棟	1927	RC造2階	映画館(昭和館)				

## 2) 部材の劣化度評価

### ①概要

建物の劣化による構造性能低減を検討するために、現地調査による構造部材の劣化状況から劣化度を分類し、劣化度別に構造性能低減率を定義した。

### ②部材の劣化度の分類

部材の劣化度は、目視調査によるコンクリートのひび割れ状況や鉄筋の腐食状態に応じて分類した。

柱の劣化度は、劣化の無い状態から順にⅠ・Ⅱ・Ⅲ片・Ⅲ両・Ⅳ片・Ⅳ両・Ⅴの8段階に分類し、梁と壁板の劣化度はⅠ・Ⅱ・Ⅲ・Ⅳ・Ⅴの6段階、スラブはA・B・C・Dの4段階に分類した。分類は以下の通りである。また、片や両は「劣化度ⅢやⅣの劣化状況が部材の片面か両面に生じているか」を分類した。スラブの劣化度については、「A：無劣化」・「B：鉄筋露出と錆び」・「C：鉄筋断面損失多い」・「D：落下または喪失」と分類し記録した。

表 2-4-69 劣化度分類表

劣化度Ⅰ	若干のひび割れがある程度
劣化度Ⅱ	付着劣化が若干生じている程度
劣化度Ⅲ	かぶりがほぼ無いがコア側の付着性能が取れそうな程度や鉄筋腐食が浮き錆程度
劣化度Ⅳ	付着がほぼ無いと判断できる程度や鉄筋が酸化鉄化しているが断面積が70%程度以上は存在する程度
劣化度Ⅴ	コア部のコンクリートも剥落している状態や鉄筋断面積が70%未満と判定できる程度

③部材の劣化度と損傷状況の例

以下に劣化度の判定例を示す。なお、括弧内の数値は長期および耐震性能低減率を示している。

③-1 劣化度 I (長期 0.95、耐震 0.95)

若干のひび割れが確認出来る程度である。



写真 2-4-118 劣化度 I

③-2 劣化度 II (長期 0.90、耐震 0.8)

腐食により鉄筋とコンクリートが肌別れし、若干、付着劣化している状態とした。



写真 2-4-119 劣化度 II

③-3 劣化度 III (長期 0.90、耐震 0.65片 / 0.33両)

かぶりコンクリートが剥落あるいはほぼ剥落と見なせる状態で、鉄筋のかぶり側がほぼ肌別れしているが、鉄筋のコア側はまだ付着がある状態とした。



写真 2-4-120 劣化度 III

③-4 劣化度Ⅳ（長期0.8柱／0.5梁、耐震0.25片・梁／0.10両）

強度を見込むことができ、耐力を0にまで落とすほどではない程度とした。かぶりが剥離して内部鉄筋の劣化が激しい場合は劣化度Ⅳとした。

写真 2-4-121 劣化度Ⅳ



③-5 劣化度Ⅴ（長期0.3せん断柱／0.8曲げ柱／0.0梁、耐震0.0）

せん断補強筋や主筋がどちらかでも腐食で断面が70%未満に欠損している状態とした。

④せん断柱の劣化度の分類と構造低減率

劣化度と劣化状況及びせん断柱についての性能低減率をまとめて表 2-4-70 に示す。

表 2-4-70 性能低減率

劣化度	劣化状況	長期性能	耐震性能
0	劣化のない状態	1.00	1.00
I	ひび割れ幅は1m程度以下、鉄筋が付着劣化しているとは考えられない	0.95	0.95
Ⅱ	腐食により鉄筋とコンクリートが肌別れし、若干、付着劣化している	0.90	0.80
Ⅲ片	部材片面のかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋のかぶり側はほぼ肌別れしているが、鉄筋のコア側はまだ付着があり、鉄筋は全面に浮き錆びて移動である	0.90	0.65
Ⅲ両	部材両面のかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋のかぶり側はほぼ肌別れしているが、コア部のコンクリートは健全で主筋のコア側はまだ付着があり、鉄筋は全面に浮き錆び程度である	0.90	0.33
Ⅳ方	部材片面のかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋とコンクリートが肌分かれし、付着力が殆どないが、鉄筋の断面積は70%程度以上と判断できる、あるいは酸化鉄が表面のみと判断できる	0.90	0.25
Ⅳ両	部材両面のかぶりコンクリートが剥落し、鉄筋とコンクリートが肌分かれし、付着力が殆どないが、鉄筋の断面積は70%程度以上と判断できる、あるいは酸化鉄が表面のみと判断できる	0.80	0.10
V	コア部のコンクリートも欠落するほど完全に鉄筋とコンクリートが肌分かれし、付着力がなく、鉄筋の断面積が70%未満と判断できる、あるいは鉄筋が層状に割裂している	0.30	0.00

3) 建物全体の構造性能の劣化度の評価

①概要

「2) 部材の劣化度調査」で示した部材の劣化度分類と性能低減係数を用いて、建物全体の構造性能の劣化度を評価する方法について述べる。

②架構全体の構造的な性能評価の基本的考え方

平成 27 年（2015）9 月に実施した端島の鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）建築構造物の調査において、劣化度の評価対象とした構造的な性能は、「鉛直荷重支持性能」及び「耐震性能」である。構造的な性能の劣化度の評価法は、（財）日本建築防災協会の『震災建築物の被災度区分判定基準』（以下、被災度判定基準）の RC 造建築物の考え方を準用して評価することとした。被災度判定基準では、地震により被災した建築物の被害の程度（被災度）を残存耐震性能率 R（被災前に対する被災後の耐震性能の比）で定量的に評価して判定することとしている。

部材の損傷度と荷重変形関係の概念図を被災度判定基準より引用して図 2-4-72 に示す。柱・梁・壁などの損傷度（0・Ⅰ～Ⅴ）は、部材に発生したひび割れなどの損傷状態に基づいて、地震時に部材にどの程度の最大変形が生じたか推定し、構造的な性能の低下の度合い（耐震性能低減係数  $\eta$ ）を数値化している。建物全体の残存耐震性能率 R は、各部材の耐力比（せん断柱：曲げ柱：柱無し壁：片側柱付壁：両側柱付壁＝1：1：1：2：6）と耐震性能低減係数  $\eta$  に基づいて、略算できるとされている。

なお、上述のように残存耐震性能率 R は構造的な性能の絶対値を評価しているわけではなく、初期性能に対する残存率（低下の度合い）を評価していることに注意する。本調査では、地震被害を対象とした残存耐震性能率 R の考え方を、経年劣化した端島の建築物の構造的な性能の低下に準用したものである。

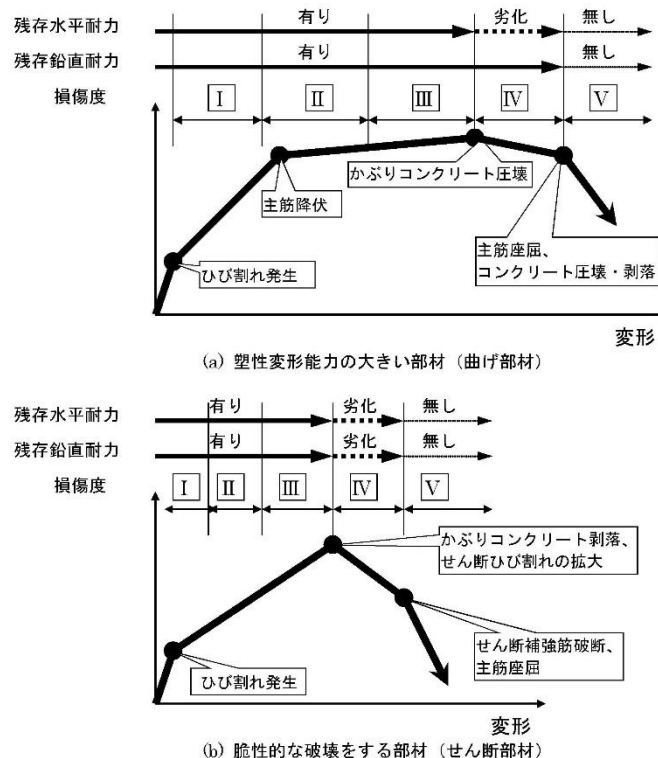


図 2-4-72 壁と梁の劣化度の集計方法

③経年劣化したRC造建築物の構造的な性能残存率RLおよびREの評価

前述のように本調査では、被災度区分判定基準の耐震性能残存率 R の考え方を準用して、端島の経年劣化した RC 造建築物の構造的な性能を評価した。評価対象とした構造的な性能は、「鉛直荷重支持性能」及び「耐震性能」の 2 種類とし、経年劣化による部材の損傷状態に基づいて劣化度を I～Ⅴの 5 段階に分類し、被災度判定基準にならって劣化度ごとの性能低下係数を定め、建物全体の性能残存率を計算

することとした。以下にその詳細を示す。

③-1 鉛直荷重支持性能

軸力などの長期荷重を支持することは重要な構造性能のひとつであり、本調査では、鉛直荷重支持性能と呼んで、残存率  $R_L$  で評価することとした。鉛直荷重の支持能力であるので、架構全体の残存率  $R_L$  は、軸力を負担する鉛直部材（柱、耐力壁）の劣化度（Ⅰ～Ⅴ）に基づいて、計算することを基本とし、梁の劣化度については、残存率  $R_L$  の計算には考慮していない。ただし、梁および床スラブの劣化度が大きい箇所（劣化度Ⅳ以上）については、局部的な床崩壊の危険などがあるため、別途その位置と損傷状況等を記録した。

架構全体の鉛直荷重支持性能残存率  $R_L$  は表 2-4-71 を使用するとともに以下の計算式を用いて計算することとした。なお、本調査では、端島の建物群が評価対象であり、これらの建物は旧耐震基準の設計であるため、柱について「曲げ柱」、「せん断柱」の区別はせず全て「せん断柱」として扱うこととした。

$$R_L = \frac{\sum A_j}{A_{org}} \times 100 = \left( \frac{\quad}{\quad} \right) \times 100 = (\quad)$$

表 2-4-71 劣化による鉛直荷重支持性能残存率  $R_L$  の計算表

	せん断柱	曲げ柱	柱なし壁	柱型付壁	両側柱付壁	合計	
総部材数	( )	+ ( )	+ ( )	+ ( )	+ ( )	= ( )	
調査部材数	( ) <sup>①</sup>	+ ( ) <sup>②</sup>	+ ( ) <sup>③</sup>	+ ( ) <sup>④</sup>	+ ( ) <sup>⑤</sup>	= ( )	
	①×1	+ ②×1	+ ③×1	+ ④×2	+ ⑤×6	= ( )	= $A_{org}$
劣化度 0	( )	+ ( )	+ ( )	+ ( )×2	+ ( )×6	= ( )	= $A_0$
劣化度 Ⅰ	( )×0.95	+ ( )×0.95	+ ( )×0.95	+ ( )×1.9	+ ( )×5.7	= ( )	= $A_1$
劣化度 Ⅱ	( )×0.9	+ ( )×0.9	+ ( )×0.9	+ ( )×1.8	+ ( )×5.4	= ( )	= $A_2$
劣化度 Ⅲ	( )×0.9	+ ( )×0.9	+ ( )×0.9	+ ( )×1.8	+ ( )×5.4	= ( )	= $A_3$
劣化度 Ⅳ	( )×0.8	+ ( )×0.8	+ ( )×0.8	+ ( )×1.6	+ ( )×4.8	= ( )	= $A_4$
劣化度 Ⅴ	( )×0.3	+ ( )×0.8	+ ( )×0.8	+ ( )×1.6	+ ( )×4.8	= ( )	= $A_5$

$$\sum A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = (\quad)$$

③-2 耐震性能

経年劣化による架構全体の耐震性能の残存率  $R_E$  は、基本的に被災度区分判定基準の方法に基づき（部材の性能低減係数は異なる）、計算することとした。鉛直部材（柱、耐力壁）に取り付く梁の劣化度が上回る場合には、梁の劣化度を当該鉛直部材の劣化度を読み替えて、架構全体の耐震性能残存率  $R_E$  は表 2-4-72 を使用するとともに以下の計算式を用いて計算した。

$$R_E = \frac{\sum A_j}{A_{org}} \times 100 = \left( \frac{\quad}{\quad} \right) \times 100 = (\quad)$$

表 2-4-72 劣化による耐震性能残存率  $R_E$  の計算表

	せん断柱	曲げ柱	柱なし壁	柱型付壁	両側柱付壁	合計	
総部材数	( )	+ ( )	+ ( )	+ ( )	+ ( )	= ( )	
調査部材数	( ) <sup>①</sup>	+ ( ) <sup>②</sup>	+ ( ) <sup>③</sup>	+ ( ) <sup>④</sup>	+ ( ) <sup>⑤</sup>	= ( )	
	①×1	+ ②×1	+ ③×1	+ ④×2	+ ⑤×6	= ( )	= $A_{org}$
劣化度 0	( )	+ ( )	+ ( )	+ ( )×2	+ ( )×6	= ( )	= $A_0$
劣化度 I	( )×0.95	+ ( )×0.95	+ ( )×0.95	+ ( )×1.9	+ ( )×5.7	= ( )	= $A_1$
劣化度 II	( )×0.6	+ ( )×0.75	+ ( )×0.6	+ ( )×1.2	+ ( )×3.6	= ( )	= $A_2$
劣化度 III	( )×0.65 ( )×0.33	+ ( )×0.5 ( )×0.2	+ ( )×0.65 ( )×0.33	+ ( )×1.3 ( )×0.66	+ ( )×3.9 ( )×1.98	= ( )	= $A_3$
劣化度 IV	( )×0.25 ( )×0.1	+ ( )×0.25 ( )×0.1	+ ( )×0.25 ( )×0.1	+ ( )×0.5 ( )×0.2	+ ( )×1.5 ( )×0.6	= ( )	= $A_4$
劣化度 V	( )×0	+ ( )×0	+ ( )×0	+ ( )×0	+ ( )×0	= ( )	= $A_5$

※損傷度 III、IV の上段：かぶり片側剥落、下段：かぶり両側剥落

$$\sum A_j = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = ( )$$

#### 4) 配筋調査

##### ①調査概要

居住施設のうち劣化の進行抑制を図る優先順位が高い建物を対象に行う構造安全性の評価に向け、構造検討する際に必要なデータを収集する目的で各種非破壊検査機器を用いて配筋調査を実施した。

調査を行った建物は、構造安全性の評価を行う表 2-4-73 に示す建物 11 棟のうち、平成 24 年(2012)に配筋調査を実施している 16 号棟を除く 10 棟である。

表 2-4-73 配筋調査対象建物

建物名称	構造・階数
3号棟	RC造4階+半地下
16号棟	RC造9階
17号棟	RC造9階
18号棟	RC造9階
19号棟	RC造6階
20号棟	RC造6階
50号棟	S造2階(1階前室RC造)
65号棟北	RC造9階+地下
65号棟東	RC造9階+地下
65号棟南	RC造10階
70号棟	RC造6階+S造屋上階(増築)

\*RC造：鉄筋コンクリート造      \*S造：鉄骨造

##### ②調査方法

配筋調査は、被災度区分判定基準および耐震診断基準 2 次診断で調査対象としている柱および壁を中心に行った。また、耐震診断基準 3 次診断や Push Over 解析の実施も想定して梁および床についても簡易的に可能な範囲で調査を行った。



## ②-1 調査対象部位の選定方針

調査対象部材の選定方針は以下の通りである。

1. 既往の図面資料を基に、建物単位で柱・梁・壁を同一断面寸法ごとにグルーピングする。
2. 柱・梁・壁が同一断面寸法であれば、同一配筋と仮定し、それぞれ部材符号をつけることとする。  
ただし、隅柱と中柱が同一断面寸法の場合でも、図面資料によって配筋まで同じであることが示されている場合を除き、その配筋は異なるものと想定して柱符号は別につける。また、既往の図面資料では、壁が RC 壁かレンガ壁か区別がつかないものがある。RC 壁であると想定して符号を付けた壁についても、それが正しいか現地で確認する必要がある。
3. 現地配筋調査は、部材符号ごとに各 1 部材に対して行うこととし、部材の位置は任意とする。測定面は、柱で 4 側面、壁は厚さに応じて 1 面ないし 2 側面とする。梁は原則、目視確認によることとし、可能な範囲で 1 側面（下端）とする。なお、1 部材では配筋が判明しない場合には複数の部材で調査を行う。

## ②-2 調査項目

調査項目は以下の通りである。

- ・鉄筋径（柱・梁：主筋およびせん断補強筋、壁：縦筋および横筋）
- ・鉄筋本数（柱・梁：主筋）
- ・鉄筋間隔（柱・梁：せん断補強筋、壁：縦筋および横筋）
- ・断面寸法（柱・梁・壁・床）
- ・かぶり厚さ（柱・梁・壁）

なお、上記項目について梁は原則として目視確認により可能な範囲で行った。

## ②-3 調査方法

配筋状態および部材断面を把握するため、各部位について表 2-4-74 に示す調査方法にて行った。

非破壊検査機器の使用にあたっては、計測結果に調査者によるばらつきが出ないように基準となる方針を定めた。なお、調査者が使用する測定機器や現地の状況等によって適宜方針を変更して調査を行った。

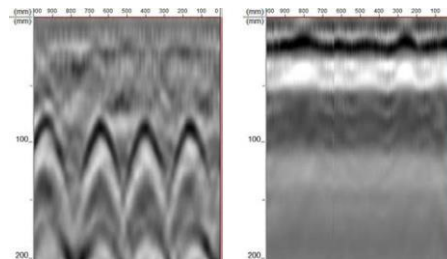
表 2-4-74 調査方法

機器方式	項目	対象部位
電磁波レーダ法	鉄筋本数・間隔	柱・壁
電磁誘導法	鉄筋径※・本数・間隔・かぶり厚さ	
メジャー・目視	部材寸法など	梁・床

③調査結果

③-1 電磁波レーダ法による配筋調査

70号棟の柱で計測した電磁波レーダ法による探査結果を図2-4-73に示す。通常、電磁波レーダ法による探査画像では鉄筋は(a)のように「山形」に表示される。一方、(b)の画像は(a)のような「山形」が明確に表示されていないが、この箇所では部材内部の鉄筋が極度に腐食している状態であった。これらの画像からかぶり厚さは(a)の方が大きいことが分かるが、かぶり厚さが小さくても鉄筋が腐食することで画像が不鮮明になることが確認された。端島では、鉄筋腐食が進行している建物がほとんどであり、電磁波レーダ法では鉄筋が確認できない場合があった。また、電磁誘導法についても、鉄筋が腐食している場合やかぶり厚さが大きい場合には、鉄筋位置を正確に把握できないことがあった。このように測定機器の原理的な限界の中で調査者それぞれが現地の状況に合わせて探査を実施した。



(a) 健全な鉄筋の波形 (b) 腐食した鉄筋の波形

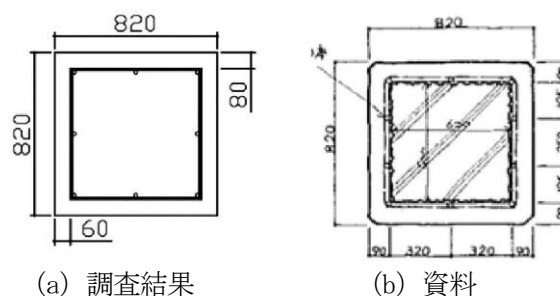
図 2-4-73 電磁波レーダーの画像

③-2 部材断面

配筋調査により得られた情報から部材リストを作成した。前述したとおり非破壊試験による鉄筋探査では、その原理的な限界から全ての部材について配筋状態が確認できていない。さらに建設当時の型枠精度などが影響し、図面では同一部材であっても寸法が一致しないこともあり、現地では部材ごとに寸法を確認して調査を実施した。

結果の一例として17号棟の柱の部材構成を図2-4-74に示す。(a)は調査によって得られた結果、(b)は『軍艦島実測調査資料集 追補版一大正・昭和初期の近代建築群の実証研究』(阿久井他 2005)にて確認できている部材の補強計画図である。この部材については、いずれも同一の寸法を示し、鉄筋についても相違なく確認することができている。

このように、各棟にて探査可能な部材について構造安全性の評価に使用する情報としての部材リストを可能な限り作成した。



(a) 調査結果 (b) 資料

図 2-4-74 電磁波レーダーの画像

③-3 問題点

端島に建つ各種建物に対し、目視や非破壊検査機器等による配筋調査を実施したが配筋状況を特定するには以下のような問題点が浮かび上がった。

- ・構造図が残されていない。
- ・施工中の設計変更や竣工後に繰り返し補強されていることから、断面形状・配筋状況に規則性が少ない。
- ・施工精度が高くないため断面形状や配筋状況にばらつきが大きい。
- ・柱に壁が取り付けられている部分や、部材で仕上げ材が厚い部分については、非破壊検査機器による鉄筋探査が困難である。
- ・露出している鉄筋は腐食による膨張や断面欠損が進行しているため、元々の鉄筋径を特定できない。
- ・鉄筋が腐食することによって非破壊検査法では正確な探査結果を得られない場合がある。

5) 3号棟の調査と劣化度

①調査概要

著しく劣化した RC 建築物の建物群を維持・保全するためには、建物ごとに劣化の度合いを考慮した構造安全性能の評価を行い、その結果に基づき適切な改修策を検討する必要がある。そこで、3号棟を対象として調査を行い、劣化状況を把握すると共に構造性能に及ぼす影響を検討した。

3号棟は端島で最も高い位置に建ち、シンボリックな建築物である。写真 2-4-122 に建物の南側外観、図 2-4-75 に島における3号棟の位置を示す。3号棟は半地下階を有するが、詳細な調査は未済のため半地下を除いた地上4層を対象とする。建物概要を表 2-4-75 に示す。『軍艦島実測調査資料集 追補版 一大正・昭和初期の近代建築群の実証研究』（阿久井他 2005）と調査結果を基に伏図を作成した。全ての階で共通であり、基準階伏図に部材符号を付して図 2-4-76 に示す。同図の通り、桁行方向（長軸）をX、梁間方向（短軸）をYとする。



写真 2-4-122 3号棟外観図

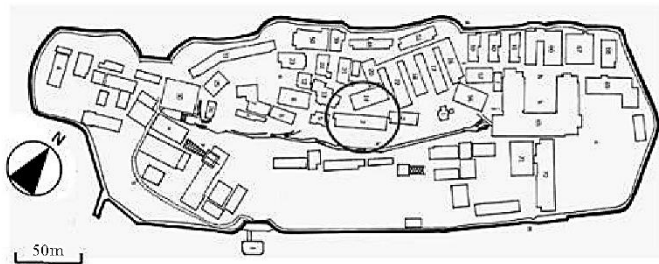
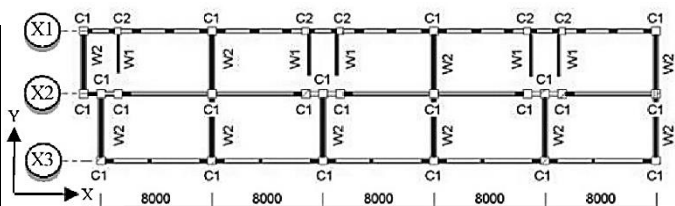


図 2-4-75 3号棟位置図

表 2-4-75 建物概要

建物名称	3号棟	
建設年	1959	
用途	職員住宅	
構造種別	桁行方向	RC ラーメン構造
	梁間方向	RC 耐震壁付ラーメン構造
階数	地下4階+半地下1階	
延床面積	1,588 m <sup>2</sup>	
階高	1~4階：2.9m	
地盤と基礎形式	岩上で直接基礎	

図 2-4-76 基準階伏図



②調査

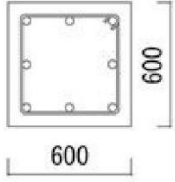
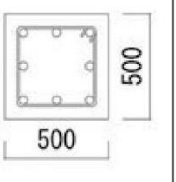
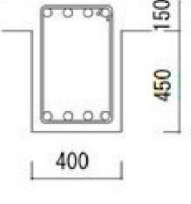
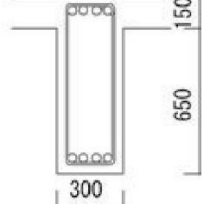
②-1 部材情報

主架構の寸法計測と鉄筋探査の結果から柱・梁・壁を表 2-4-76 のように仮定した。なお、床スラブの配筋は不明である。仮定した部材寸法と雑壁位置の調査結果から作成した X1、X3 通りの架構図を図 2-4-77、図 2-4-78 に示す。網掛け部は開口を表す。梁寸法の計測の様子を写真 2-4-123 に例示する。

②-2 構造部材の劣化状況

先述した基準に従い、各階において柱・壁・梁の劣化度を調査した。その結果を図 2-4-79 に示す。無色の部材は劣化度 0 である。柱に劣化度Ⅲ以上の損傷は見られず、2～4階において建物の西側の梁に劣化度Ⅳに相当する損傷が確認された。

表 2-4-76 建物概要

符号	柱C1	柱C2	桁行方向 梁	梁間方向 梁
断面				
寸法	600×600	500×500	400×600	300×800
主筋	8-19Φ	8-19Φ	8-19Φ	8-19Φ
帯筋	□-Φ9@220	□-Φ9@220	□-Φ9@250	□-Φ9@250

符号	耐震壁 W1	耐震壁 W2	(mm)
厚さ	200	250	
縦筋	Φ9@230	Φ9@230	
横筋	Φ9@230	Φ9@230	

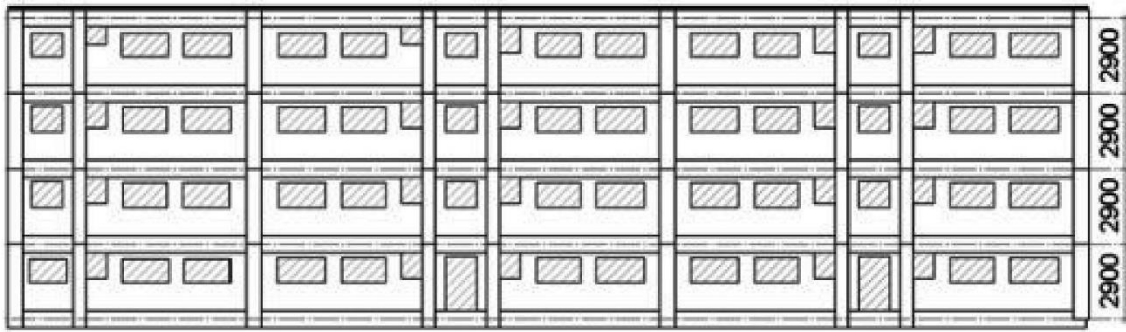


図 2-4-77 X1 通り架構図

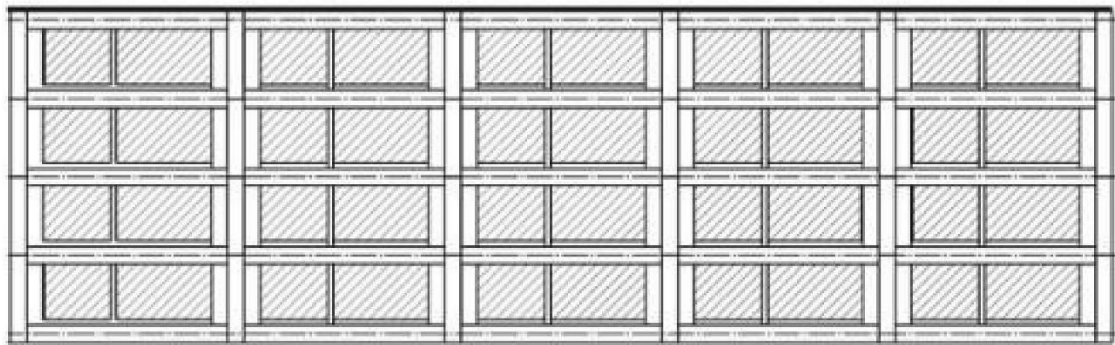


図 2-4-78 X3 通り架構図

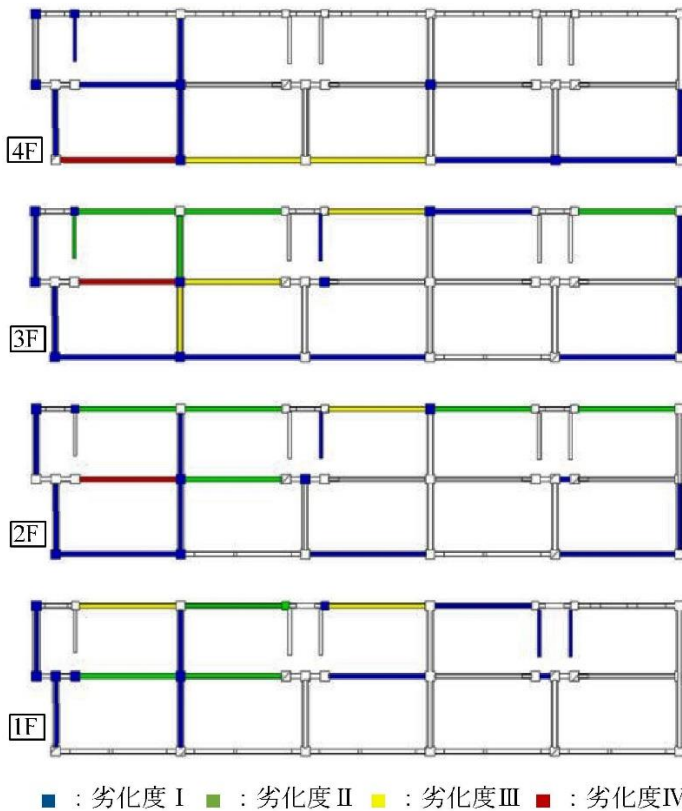


図 2-4-79 構造部材の劣化状況



写真 2-4-123 梁寸法の計測



写真 2-4-124 室内造作物の劣化状況

### ③劣化による構造性能の低下

先に示した方法で求めた 3 号棟の鉛直荷重支持性能残存率  $R_L$  と耐震性能残存率  $R_E$  を表 2-4-77 に示す。 $R_L$  は 2 階の 98% が最低であり、劣化による影響は少ないことがわかる。一方、 $R_E$  については、Y 方向より X 方向が低く、2 階 X 方向の 83% が最低である。写真 2-4-124 に示すように、室内の木製造作物の劣化や損傷は顕著であるが、構造体の劣化は比較的に行進していなかった。

3 号棟の構造体の劣化が軽度であった要因として、島の建物の中では竣工年が昭和 34 年 (1959) と比較的新しいこと、及び島中央の高台に位置し、潮風の影響が他の建物より少ないことが考えられる。

表 2-4-77 鉛直荷重支持性能残存率  $R_L$  ・耐震性能残存率  $R_E$

階		1F	2F	3F	4F
RL		99%	98%	99%	99%
RE	X 方向	90%	83%	85%	87%
	Y 方向	97%	96%	97%	98%

### ④まとめ

端島の 3 号棟について、部材の詳細と劣化度の調査を行い構造性能の残存率を求めた。その結果、3 号棟の劣化は他の建物に比べて軽度であることが看取された。

## 6) 3 号棟の耐震診断と静的増分解析

### ①調査概要

歴史的価値の高い端島の RC 建築物群を維持・保全するためには劣化の度合いを考慮した構造性能の評価が必要である。そのため 3 号棟を対象として、建設当時における対象建物の耐震性能を把握することを目的に耐震診断と静的増分解析を行った。対象は半地下を除く地上 4 階とし、ペントハウスは重量のみを考慮する。材料強度は未調査であるため、コンクリートは  $F_c15$ 、鉄筋は SR235 と仮定する。

### ②耐震診断

『既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説』（一般財団法人日本建築防災協会 2001）に準拠して第 2 次の耐震診断を行う。ここでは建設当時の耐震性能を把握するため、経年指標  $T=1.0$  とする。診断結果を表 2-4-78 に示す。また、X 方向に関する部材の破壊形状と靱性指標  $F$  を図 2-4-80 に、 $C_r-F$  関係を図 2-4-81 にそれぞれ示す。多数の耐震壁がある Y 方向は、構造耐震指標  $I_s$  が構造耐震判定指標  $I_{so}$  ( $=0.6$  と設定) を上回り「安全」と判定された。一方、耐震壁の少ない X 方向では、北側の X1 構面に多数の極脆性柱があり、1 階及び 2 階で「疑問あり」となった。ただし、昭和 30 年代の建物としては比較的に高い  $I_s$  値である。

表 2-4-78 鉛直荷重支持性能残存率  $R_L$  ・耐震性能残存率  $R_E$

方向	階	E0	SD	T	IS	CTU・SD	判定
X (桁行)	4F	1.11	1.00	1.00	1.11	0.91	安全
	3F	0.76			0.76	0.48	安全
	2F	0.59			0.59	0.48	疑問あり
	1F	0.54			0.54	0.44	疑問あり
Y (梁間)	4F	2.53	1.00	1.00	2.53	2.53	安全
	3F	1.47			1.47	1.47	安全
	2F	1.02			1.02	1.02	安全
	1F	0.86			0.86	0.86	安全

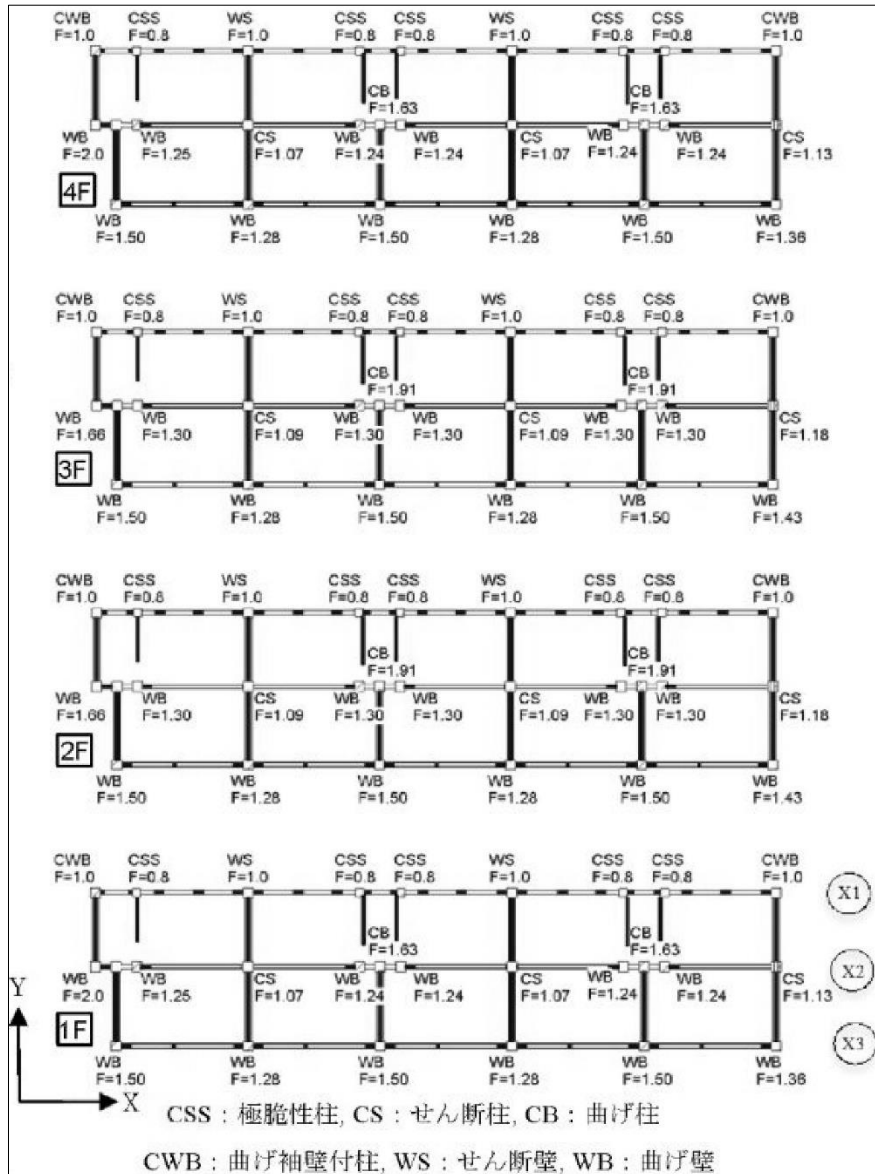


図 2-4-80 部材の破壊形式と靱性指標 F (X 報告)

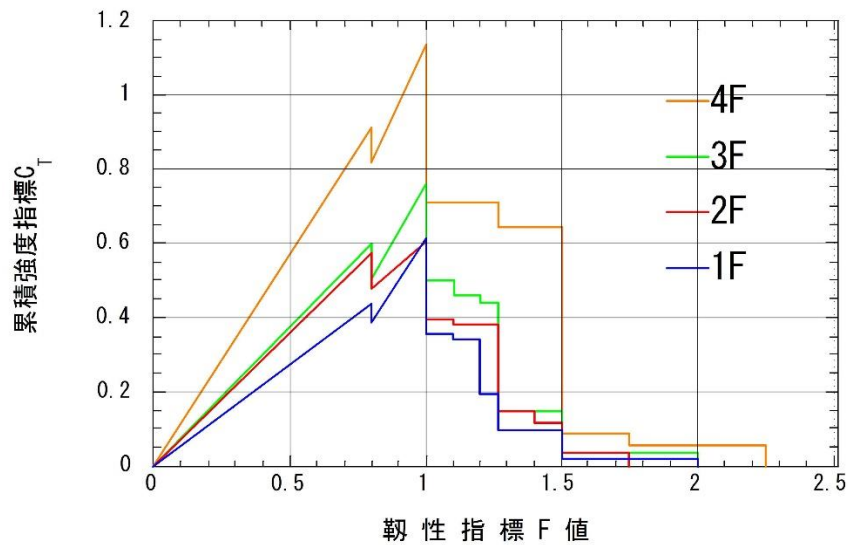


図 2-4-81 CT-F 関係図 (X 方向)



③解析

対象建物の3号棟を、図2-4-82に示すように立体フレームモデルに置換し、解析ソフト SNAP Ver. 6.0.1.3 ((株)構造システム) を用いて弾塑性応答解析を行った。

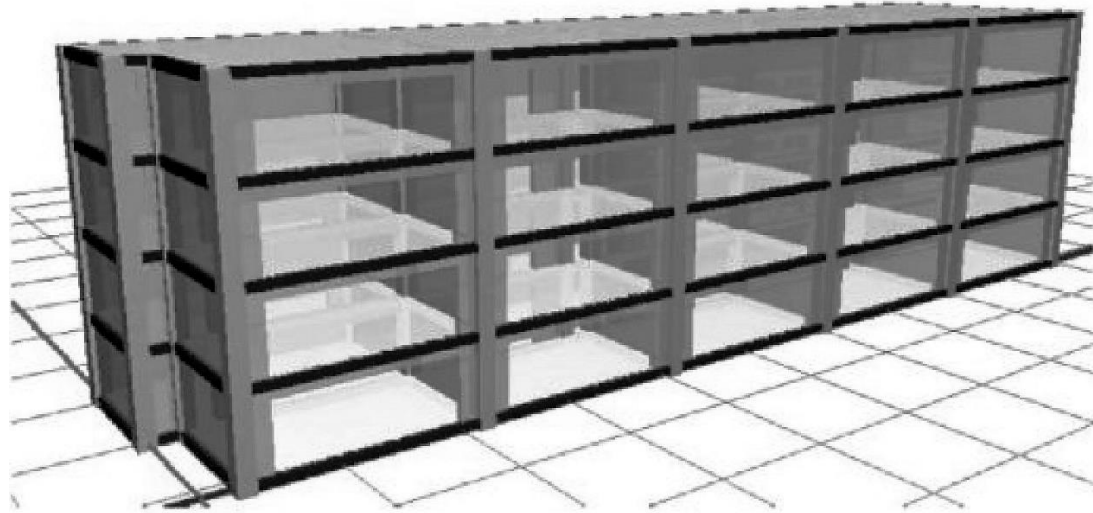


図 2-4-82 解析用の立体フレームモデル

③-1 部材モデル

図2-4-83に部材のバネモデルを示す。柱・梁については図2-4-83(a)のとおり、曲げばね、せん断バネ、軸バネの複合モデルとし、耐震壁は図2-4-83(b)に示すように、3本柱と剛梁に置換する。復元力特性として、今後の地震応答解析を想定し、曲げバネには武田モデル(図2-4-84(a))、せん断バネには耐力低下を考慮した原点指向型モデル(図2-4-84(b))、軸バネには線形弾性モデルを採用する。部材の曲げとせん断の耐力は耐震診断の値と同一である。

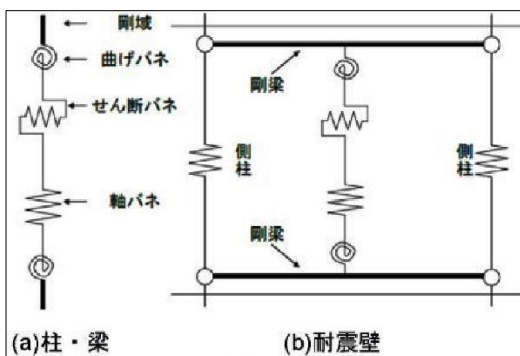


図 2-4-83 部材のバネモデル

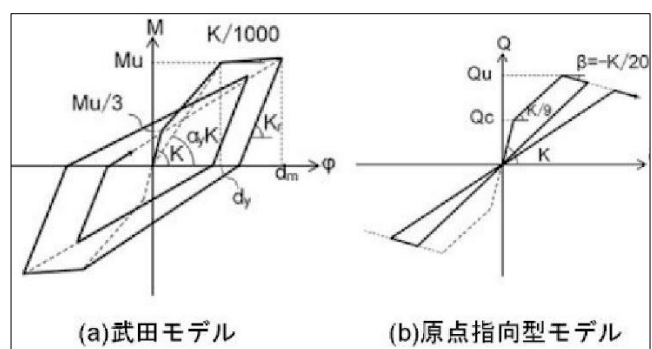


図 2-4-84 復元力特性

③-2 静的増分解析

静的増分解析を、いずれかの層で層間変形角 1/200 に達するまで、変位増分で実施した。X方向について、各層の層せん断力Qと層間変形角Rの関係を図 2-4-85 に示す。耐震診断で  $I_s$  値が最小であった 1F が最初に  $R=1/200$  に達したことがわかる。また、最も損傷が顕著であった X3 架構における損傷状況を図 2-4-86 に示す。同図から、梁端に損傷が集中し、梁降伏先行の全体崩壊型となりつつあることがうかがえる。ただし、現状では床スラブの調査が未済のため解析の梁モデルにおいて床スラブの鉄筋等が考慮されておらず、今後の詳細な検討が必要である。

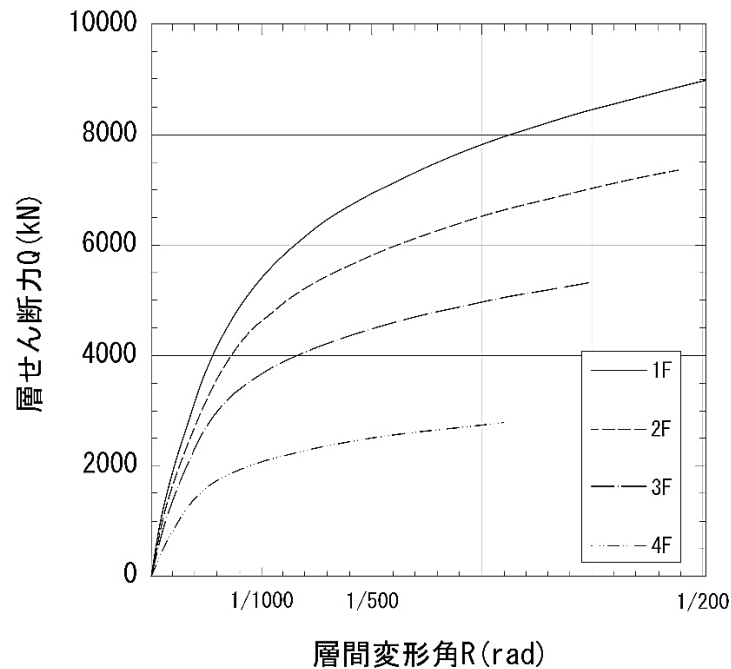


図 2-4-85 層せん断力Q－層間変形角Rの関係（X方向）

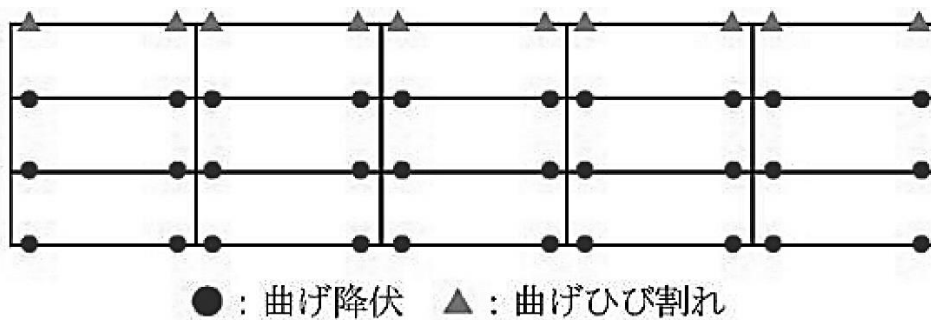


図 2-4-86 X3 架構の損傷状況

④まとめ

端島の RC 建築物群の維持・保全を目指して、3号棟の建設当時の耐震性能の検討を行った。耐震診断の結果から、桁行方向の1、2階で耐震性能が不足していること、静的増分解析による結果から、床スラブを考慮した梁モデルで検討する必要があることが看取された。本検討では建設当時の構造性能を評価したが、今後に劣化状況を考慮した性能の評価が不可欠である。

7) その他の建物の構造性能低減率

①概要

「3) 建物全体の構造性能の劣化度の評価」で示した部材の劣化度分類方法、及び4)「配筋調査」で示した長期性能および耐震性能低減率の算出方法を用いて、5)及び6)で3号棟を例に示したように端島のその他の建物に対して構造性能の低減率を計算した。対象とする建物は、端島を構成する建物のうち、表2-4-79に示す30棟とした。建物階数は1階～10階建てである。一部、半地下階を有する建物もあるが、低減率の計算では、その階を地上1階として集計している。2号棟の長期性能および66号棟の耐震性能X方向は、現地調査の実施が困難であったため対象外とした。

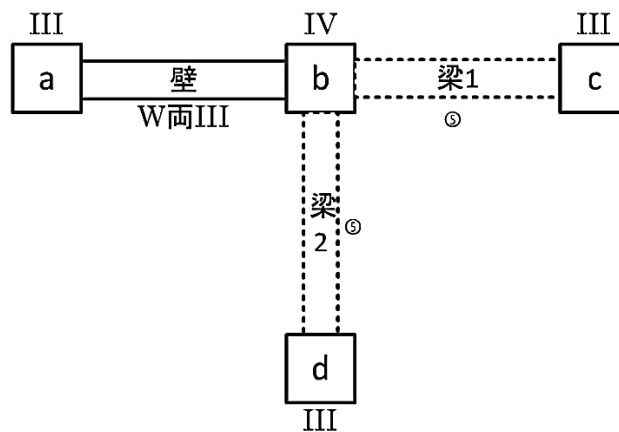
表 2-4-79 対象建物と低減率計算結果

建物名称	階数	長期性能	耐震性能		
			X方向	Y方向	最小値
2号棟	4	-	83%	100%	83%
3号棟	4	98%	83%	96%	83%
8号棟	1	72%	40%	17%	17%
13号棟	4	95%	79%	83%	79%
16号棟	9	73%	24%	30%	24%
17号棟	9	79%	48%	20%	20%
18号棟	9	81%	61%	50%	50%
19号棟	9	82%	60%	56%	56%
20号棟	6	77%	54%	51%	51%
21号棟	5	78%	56%	26%	26%
25号棟	4	66%	30%	6%	6%
30号棟	7	44%	3%	3%	3%
31号棟	6	73%	11%	26%	11%
39号棟	3	88%	49%	73%	49%
50号棟	1	75%	15%	27%	15%
51号棟	9	83%	42%	18%	18%
56号棟	3	83%	65%	57%	57%
57号棟	6	42%	4%	13%	4%
60号棟	5	83%	23%	25%	23%
61号棟	5	77%	45%	27%	27%
66号棟	5	76%	—	40%	40%
67号棟	1	37%	1%	4%	1%
68号棟	2	97%	78%	73%	73%
70号棟	6	92%	66%	72%	66%
71号棟	2	67%	35%	18%	18%
65号棟北	9	56%	12%	12%	12%
65号棟東	10	68%	20%	24%	20%
65号棟南	10	88%	80%	68%	68%
ちどり荘	2	46%	0%	86%	0%
貯水槽	1	69%	18%	37%	18%

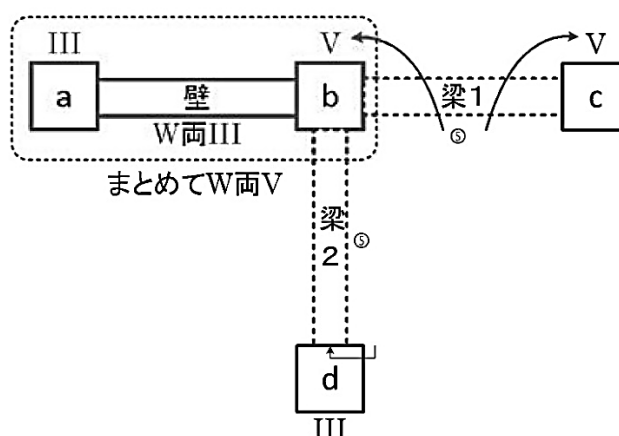
②調査方法

調査では、各建物各階の柱・梁・耐力壁の劣化度を、「3) 建物全体の構造性能の劣化度の評価」で示した方法で分類して記録した。また今回は用いないが、スラブ下面の劣化度も分類した。壁の分類は、両側柱付き壁、片側柱付き壁、柱なし壁の3種類に分けて劣化度を分類した。壁および梁の劣化度の集計方法を図2-4-87に示す。まず、各部材の劣化度をあらかじめ用意した伏図に記録する。長期性能に対する劣化度を算出する際には、梁の影響は無視して、柱および壁といった鉛直材の劣化度のみから算出した。これは、スラブに作用する鉛直荷重は、梁が劣化していてもスラブ等を介して伝達できると仮定したためである。

一方、耐震性能低減率では、梁の劣化度は、検討方向に架かる場合のみ考慮し、その劣化度が両端で接続する鉛直部材の劣化度よりも大きい場合は、それらの鉛直部材の劣化度を梁の劣化度で読み替える。例えば図2-4-87(a)のように各部材の劣化度が分類された場合、X方向の耐震性能を検討する場合は図2-4-87(b)に示すように梁1の劣化度が⑤であるため、柱b(Ⅳ)および柱c(Ⅲ)の劣化度はVと読み替える。更に、耐震壁の耐震性能を検討する際の劣化度は、側柱も含めて評価することとし、柱と壁版の劣化度の大きな方で読み替えるため、図2-4-87(b)に示すように、まとめてVとなる。なお、柱dはX方向を考える場合は梁2の影響は受けない。



(a) 部材の劣化度分類



(b) 耐震性能 X 方向での集計

図2-4-87 壁と梁の劣化度の集計方法

③低減率算出結果

算出された長期性能低減率および耐震性能低減率を表 2-4-79 及び図 2-4-88 に示す。長期性能は 30 号棟など一部を除いて比較的 low 減率が低いことが分かる。一方、耐震性能は島中央部の 3 号棟周辺で low 減率が低いが、特に海岸沿いで low 減が著しく、25 号棟、30 号棟、57 号棟、67 号棟、及びちどり荘では low 減率が 1 桁であり、残存する耐震性能が極めて低いことが分かる。

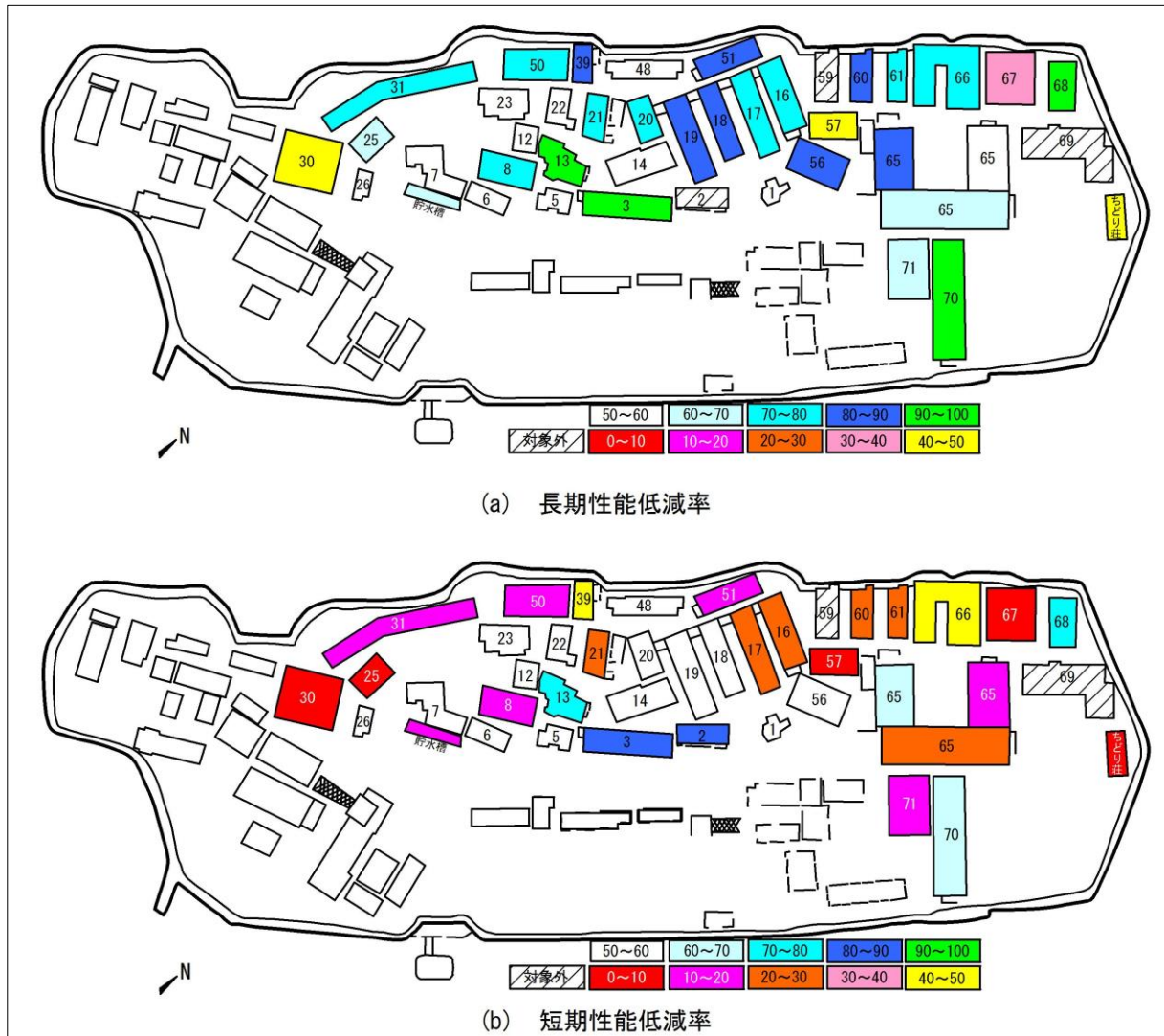


図 2-4-88 算出された長期性能低減率及び短期性能低減率

8) 劣化環境区分に基づくマルコフ連鎖による劣化・構造性能低下の予測

①概要

2)で述べたように端島に存在するRC造建物の劣化度の目視調査を実施した。そこで、この内の16号～20号棟(図2-4-89)を対象とし、マルコフ連鎖に基づいて部材の劣化予測を行った。加えて、将来の鉛直荷重支持性能の残存率 $R_L$ 及び耐震性能の残存率 $R_E$ を算出することで、建物の構造性能の低下を予測した。

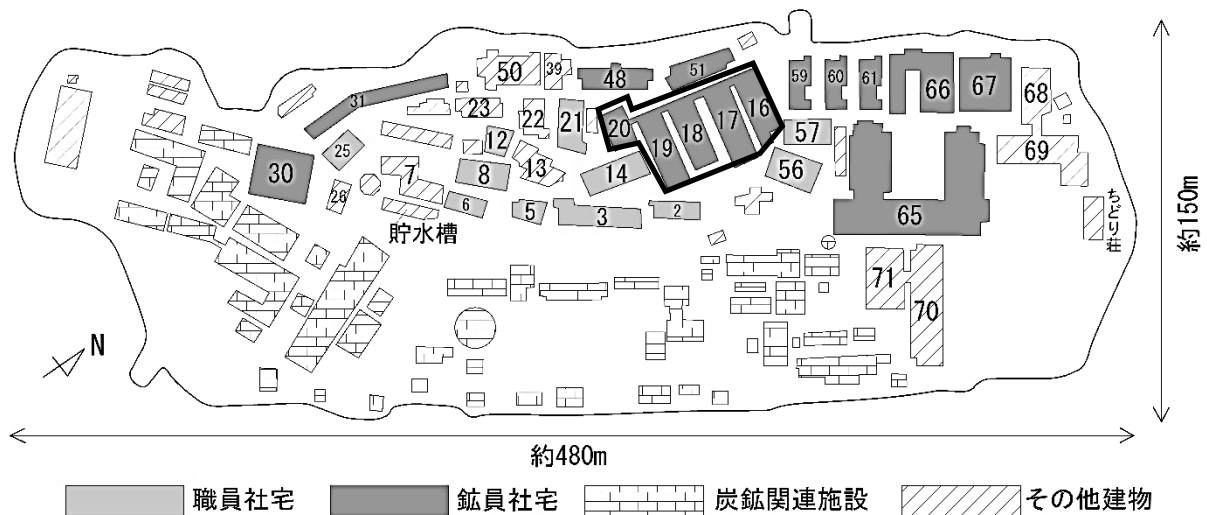


図 2-4-89 16号棟～20号棟配置図

②マルコフ連鎖の適用法

②-1 マトリクスの作成

マルコフ連鎖に基づく劣化遷移のマトリクスは式(1)のように設定した。建設完了時における部材は全て劣化度0であったと仮定し、また途中で補修・補強が施された部材はその年の劣化度を0と仮定した。すなわち $X_0' = 1, X_1 \sim V' = 0$ とし、 $t$ に現在までの経過年数を代入し、現在の劣化度の割合 $X_0 \sim V$ に合うように遷移確率 $P_0 \sim 4$ を算出した

$$\begin{pmatrix} X_0 \\ X_1 \\ X_{II} \\ X_{III} \\ X_{IV} \\ X_V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-P_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_0 & 1-P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_1 & 1-P_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_2 & 1-P_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_3 & 1-P_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_4 & 1 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} X_0' \\ X_1' \\ X_{II}' \\ X_{III}' \\ X_{IV}' \\ X_V' \end{pmatrix} \quad \text{式(1)}$$

$X_0 \sim V$  : 現在の劣化度の割合       $P_0 \sim 4$  : 遷移確率  
 $X_0 \sim V'$  :  $t$ 年前の劣化度の割合       $t$  : 経過年数

②-2 劣化環境の区分

劣化進行予測にマルコフ連鎖を適用する場合、対象となる部材は同様の劣化環境に置かれていると想定される必要がある。すなわち、劣化進行速度が区別できる部材においては、別々に遷移確率を算出するべきであると考えられる。RC部材の劣化進行は鉄筋の腐食が支配的であるため、鉄筋の腐食速度に関わる要因に着目して劣化環境の区分を行った。鉄筋の腐食に関わる要因は直接的、間接的含めて多

岐にわたるが、今回は水分、塩分、かぶり厚に着目した。その他の要因については、部材間で同様と見なせる、もしくは明確に差を見出せない要因であることから、確率の中に包含されて評価されるべき要因であると判断した。

かぶり厚は 16 号棟の調査を参考にすると、柱、梁部材にかぶり厚の頻度の違いが見られた (図 2-4-90)。また、16 号～20 号棟はいずれも同程度の年代に、同様の形式によって建設された建物であるため、かぶり厚については全棟で同様の傾向があると想定し、柱、梁部材で区分を行うこととした。水分と塩分に関わる環境としては、雨掛かりの有無と飛来塩分量を取り上げ、飛来塩分環境を区分する際には、端島における飛来塩分量輸送式 (式 2-1・2)・(清水峻他『長崎県軍艦島における飛来塩分輸送状況に関する考察』2015・清水峻他『長崎県軍艦島の塩害環境について一三年間の調査報告および飛来塩分輸送推定 Map の作成』) を用い、区分毎の対象部材数になるべく偏りが出ないように配慮した。以上から、端島の劣化環境を表 2-4-80 に示す通りに区分した。

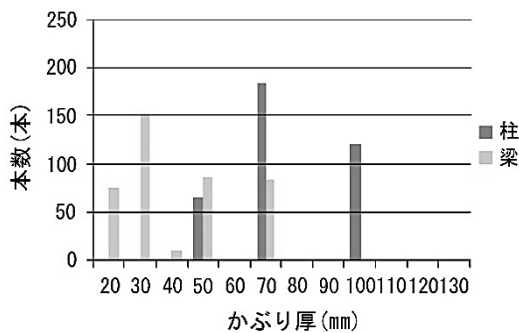


表 2-4-80 劣化環境区分

雨掛かりの有無	年平均平均塩分量		かぶり厚の影響
	高 (20mdd～)		
	中 (4～20mdd)		
外部	低 (～4mdd)		柱、梁
内部	外壁によりほぼ到達しない		柱、梁

$$A_0 = 2.2784 \times (V_a - 1)^2 \quad (V_a \geq 1) \quad \text{式 (2-1)}$$

$$A = A_0 \left( \frac{D \cdot H}{D_0 \cdot H_0} \right)^{-\alpha} \quad \text{式 (2-2)}$$

$A_0$ : 任意地点の発生飛来塩分量 (mg/dm<sup>2</sup>/day)     $V_a$ : 平均風速(m/s)  
 $A$ : 任意地点の飛来塩分量 (mg/dm<sup>2</sup>/day)     $D$ : 任意地点の海岸距離(m)  
 $H$ : 任意地点の標高(m)     $D_0$ : 病院の海岸距離(m)  
 $H_0$ : 病院の標高(m)     $\alpha$ : 減衰係数(1.47)

図 2-4-90 16 号棟におけるかぶり厚頻度分布

### ③遷移確率と劣化曲線について

以上の方法によって算出された柱 (柱なし壁を含む) と梁の遷移確率を図 2-4-91 に示す。また、各遷移確率および劣化度から算出される期待値によって描かれる劣化曲線を図 2-4-92 に示す。期待値は小数点以下四捨五入した。

おおむね、内部よりも外部にある部材、また飛来塩分環境がより厳しい部材の方が遷移確率が高く、劣化進行が速い傾向があることが確認された。また、劣化曲線ではいずれの区分においても柱より梁の劣化進行が速いという結果が得られた。

上記の傾向に沿わない部分については、ここで区分した環境に合致しない部材が存在する可能性があると考えられる。例えば、内部と判定される部材であっても、周囲に大きな開口があれば雨掛かりや塩分の付着がある、あるいは飛来塩分量が多いと判断される領域でも、建物の方角や近傍の風況によっては塩分の付着量は少ないといった部材が実際には存在するはずである。

したがって、より信頼性の高い遷移確率を得るためには、よりの確な環境区分が行われることが重要であると考え、少なくとも全く区分を行わない場合に比して、劣化環境の厳しい部材は劣化の

進行がより速く、劣化環境が穏やかな部材は劣化の進行がより遅く予測されることになるため（図 2-4-91、図 2-4-92）、より現実的な劣化予測が可能になると考える。

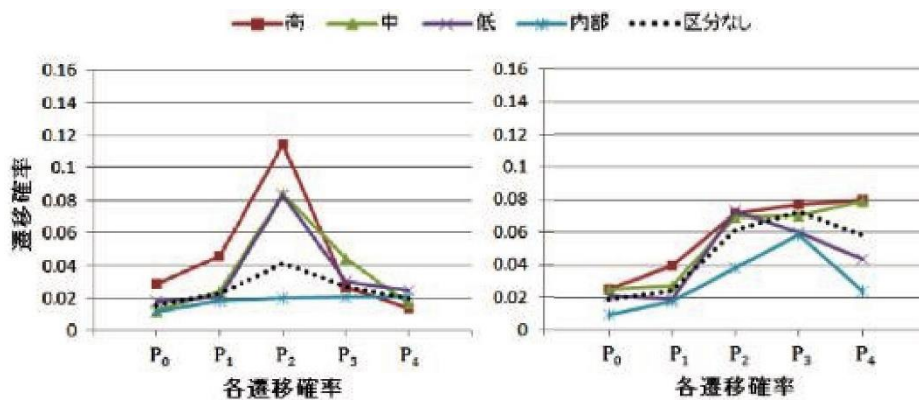


図 2-4-91 遷移確率（左：柱 右：梁）

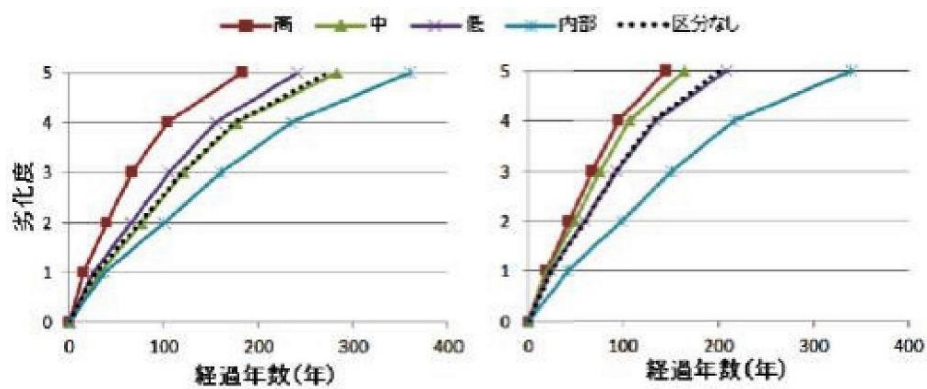


図 2-4-92 劣化曲線（左：柱 右：梁）

#### ④構造性能の予測結果

図 2-4-93 は全階を対象として  $R_e$  を算出し、予測した結果である。各棟の長辺方向が X 方向、短辺方向が Y 方向である。全棟通して、Y 方向のほうが X 方向よりも  $R_e$  の値は高く、低下の進行も遅いことがわかる。これは、劣化進行速度の遅い内部の壁部材が Y 方向に多く存在していることに起因している。また、図 2-4-94 は全階を対象として  $R_l$  を算出し、予測した結果である。 $R_l$  値について、今後 30 年においては全棟で大きな変化は見られず、その後、16 号棟の低下進行が比較的速く、20 号棟の低下進行が比較的遅いということが予測された。この差については、海岸からの距離が影響していると考えられる。

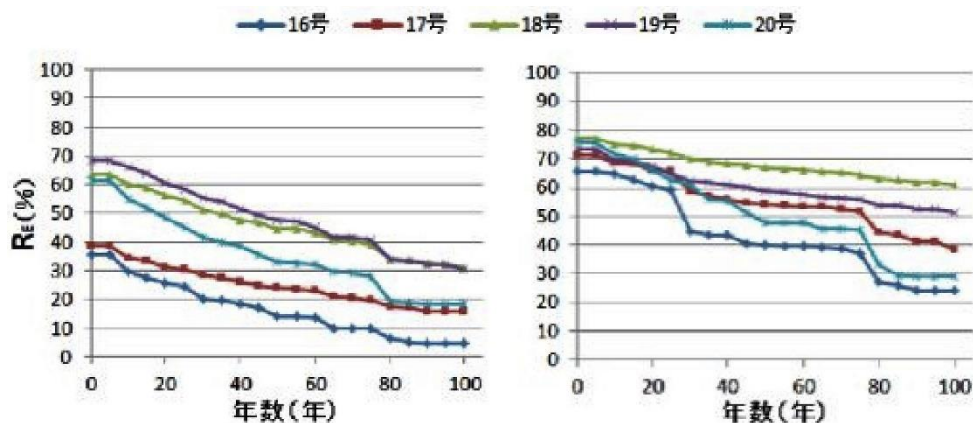




図 2-4-93 耐震性能の残存率 RE の予測 (左 : X 方向 右 : Y 方向)

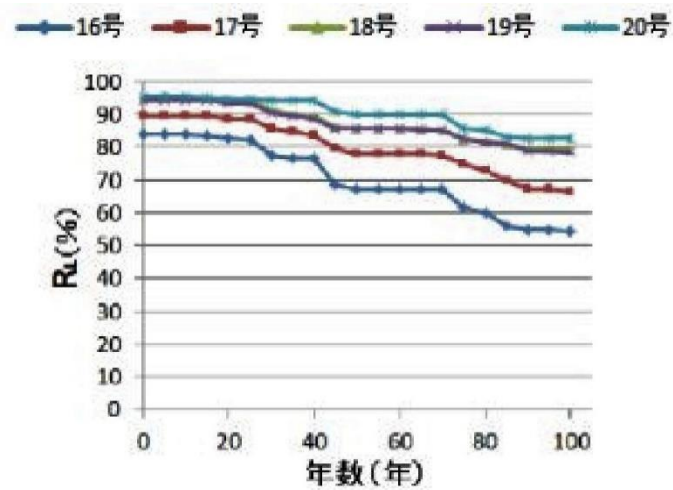


図 2-4-94 鉛直荷重支持性能の残存率 R<sub>L</sub> の予測

⑤まとめ

1. 端島における RC 部材の劣化環境を雨掛かりの有無、飛来塩分量、かぶり厚によって区分した結果、雨掛かりがあり、飛来塩分量が多い環境に置かれている部材であるほど、劣化進行速度は速くなる傾向が示された。柱と梁を比較した場合は、梁の方が劣化進行が速いことが確認された。これは、かぶり厚による影響と考えられる。
2. 16号～20号における耐震性能の残存率 R<sub>E</sub> について予測した結果、全棟通して、Y方向のほうが X方向よりも値は高く、低下の進行も遅いことが予測された。
3. 16号～20号における鉛直荷重支持性能の残存率 R<sub>L</sub> について予測した結果、今後 30年においては全棟で現在の残存率に大きな変化は見られず、その後 16号棟が比較的速く、20号棟が比較的遅く R<sub>L</sub> の低下が進行することが予測された。

9) 材料物性が劣化速度に及ぼす影響

①概要

端島の建物の保存を行うにあたり、劣化に影響を及ぼす因子を把握することは重要であるため、材料物性が劣化速度にどの程度影響を及ぼしているかを検討した。なお、部材の材料物性として表 2-4-81 に示す項目について検討し、これらの測定箇所を表 2-4-82 に示した。

表 2-4-81 材料物性

記号	項目	測定方法
a	初期含有全塩化物イオン濃度	債主コアの EPMA 結果から Fick の拡散方程式より回帰分析して算出し棟ごとに平均
b	塩化物イオンの見掛けの拡散係数	同上
c	質量含水率	鉄筋位置近傍のコンクリート片を採取し、採取直後と 105°C 乾燥機による絶間状態に質量測定し算出
d	表層透気係数	トレント試験機により測定
e	かぶり厚さ	コア採取およびはつりを行い測定、または RC レーダーにより測定
f	総細孔量	鉄筋位置近傍のコンクリート片を採取し、水銀圧入法により測定

表 2-4-82 測定箇所

記号	位置	調査時 材齢[年]	劣化度	測定項目					
				a	b	c	d	e	f
①	30号棟1階	99	V	○		○	○	○	○
②	16号棟1階	97	III	○	○	○	○	○	○
③	16号棟3階	97	III	○	○	○	○	○	○
④	16号棟3階	97	III	○	○	○	○	○	○
⑤	25号棟1階	84	V	○	○	○	○	○	○
⑥	57号棟1階	76	0	○	○	○	○	○	○
⑦	65号棟北棟1階	70	V	○	○	○	○	○	○
⑧	65号棟北棟1階	70	IV	○	○	○	○	○	○
⑨	65号棟北棟1階	70	II			○	○		
⑩	65号棟東棟1階	66	I	○	○	○	○	○	○
⑪	65号棟東棟1階	66	V				○		
⑫	65号棟東棟2階	66	0			○	○		
⑬	65号棟東棟2階	66	II				○		
⑭	59号棟1階	62	I				○		
⑮	59号棟1階	62	0				○		
⑯	59号棟1階	62	1			○			
⑰	65号棟南棟1階	57	1	○	○	○	○	○	○

## ②劣化速度

### ②-1 遷移確率

棟ごとの遷移確率を図 2-4-95 に示す。なお、この遷移確率は、せん断柱・柱なし壁・片側柱付き壁・両側柱付き壁及び梁の劣化度をもとに算出した。また、正確な遷移確率を得るため、全ての劣化度に部材が 1 本以上存在する棟のみを対象とした。

遷移確率は、ある単位時間内における劣化度の上昇に対する確率であると言え、言い換えるとある種の劣化速度と関係を持つ値である（小牟禮建一他『RC 栈橋上部工の塩害による劣化進行モデルの開発』2002）。図 2-4-95 より、各劣化度間で次の劣化度へ遷移する速度は異なることがわかる。特に、 $P_1 < P_2 < P_3$  となる傾向が見られ、これは劣化度 I から IV にかけて加速しながら劣化度が遷移していることを表している。宮川豊章氏らによれば、腐食ひび割れ発生後、腐食速度は増大するとされ、本研究で得られた遷移確率が持つ特徴はこれと似た傾向を有していると考えられる（宮川豊章他「塩分雰囲気中におけるコンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計について」1988）。

### ②-2 劣化度期待値

各部材の将来の劣化度を期待値として予測し、同一材齢に揃えることで劣化における経年の影響を排除することを試みた。式（1）に示すのは、平成 27 年（2015）に劣化度が II であった部材の劣化度期待値を求めるものである。

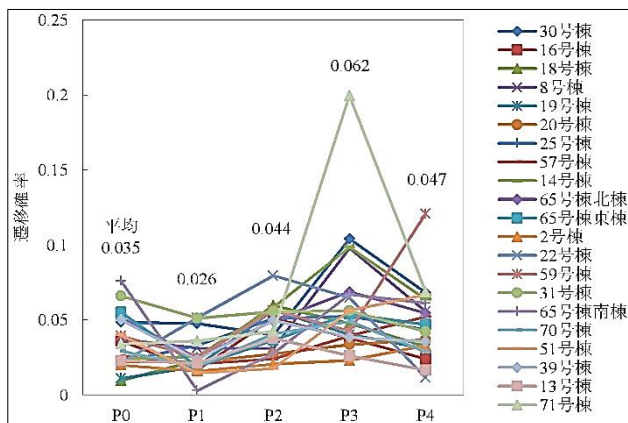


図 2-4-95 遷移確率

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1-P_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_0 & 1-P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_1 & 1-P_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_2 & 1-P_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_3 & 1-P_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_4 & 1 \end{pmatrix}^{t-t_{2015}} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

ここに、

$E$  : 劣化度期待値 式 (1)

$P_0 \sim P_4$  : 棟の遷移確率

$t$  : 任意の材齢

$t_{2015}$  : 2015 年における材齢

## ③材料物性と劣化速度

### ③-1 初期含有全塩化物イオン濃度と遷移確率

初期含有全塩化物イオン濃度と各遷移確率の関係を図 2-4-96～図 2-4-100 に示す。これらより、初期含有全塩化物イオン濃度が高いほど  $P_1 \sim P_4$  が高くなる傾向が見られた。初期含有塩化物イオン濃度が高いと腐食発生限界塩化物イオン濃度に達するまでの時間が短くなり、劣化速度は上昇すると考えられる。なお、端島の建物においては『コンクリート標準示方書』（土木学会 2012）に示される腐食発生限界塩化物イオン濃度をすでに上回っている棟が多い。P0 において相関が見られなかったことに関しては今後検討が必要である。

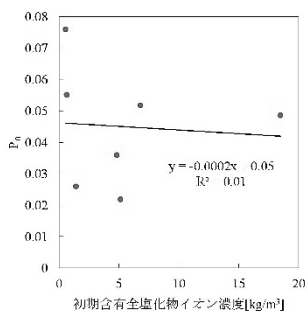


図 2-4-96 初期含有全塩化物イオン濃度と P<sub>0</sub>

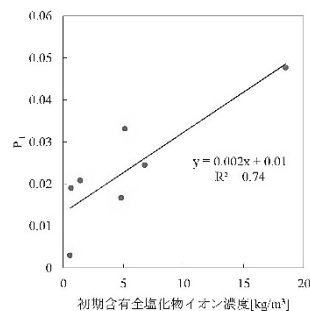


図 2-4-97 初期含有全塩化物イオン濃度と P<sub>1</sub>

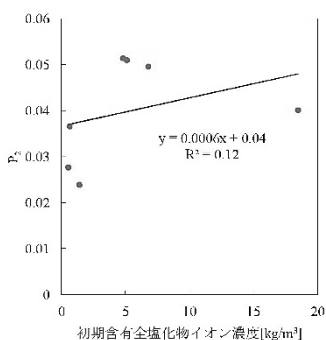


図 2-4-98 初期含有全塩化物イオン濃度と P<sub>2</sub>

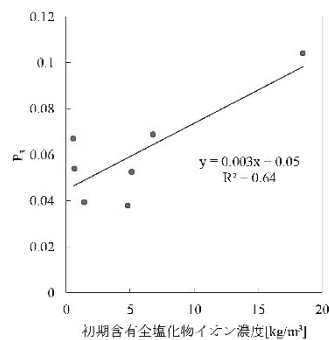


図 2-4-99 初期含有全塩化物イオン濃度と P<sub>3</sub>

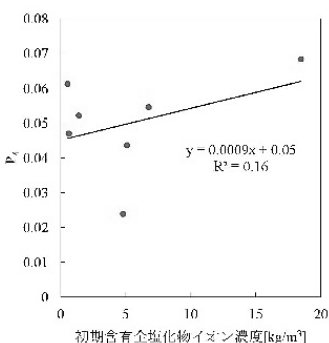


図 2-4-100 初期含有全塩化物イオン濃度と P<sub>4</sub>

### ③-2 その他の材料物性と劣化期待値

塩化物イオンの見掛けの拡散係数、質量含水率、表層透気係数及びかぶり厚さと劣化度期待値の関係を図 2-4-101～105 に示す。なお、ここでは補修の記録がある 30 号棟および 16 号棟は除外し、最も古い 25 号棟の材齢 84 年に揃えて各部材の劣化度期待値を算出した。これらの図より、質量含水率および表層透気係数が高くなるほど材齢 84 年における劣化度期待値も大きくなる傾向が見られた。質量含水率は腐食電流の流れやすさに、表層透気係数は鋼材腐食因子である酸素の部材内部への侵入しやすさに影響を与えていると考えられる。なお、打ち放しである部材⑭を除き、これらの部材にはモルタル仕上げが施されている。塩化物イオンの見掛けの拡散係数、かぶり厚さ、総細孔量においては明確な傾向は見られなかった。

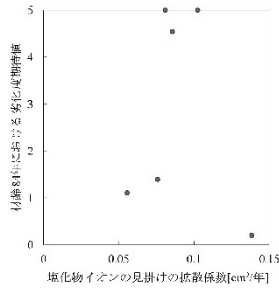


図 2-4-101 塩化物イオンの見掛けの拡散係数と劣化度期待値

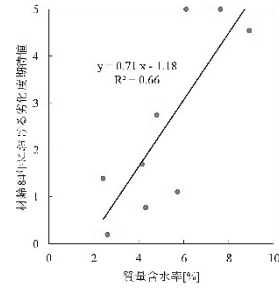


図 2-4-102 質量含水率と劣化度期待値

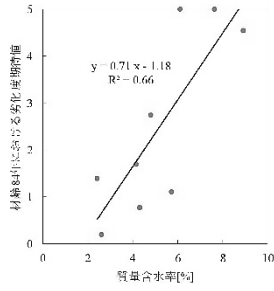


図 2-4-103 表層透気係数と劣化度期待値

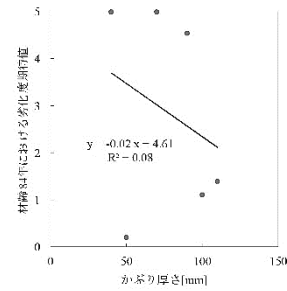


図 2-4-104 表層透気係数と劣化度期待値

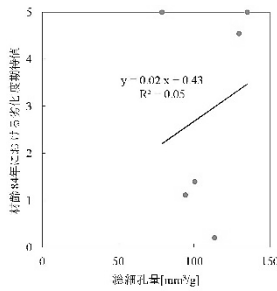


図 2-4-105 表層透気係数と劣化度期待値

④まとめ

以上の検討より得られた相関係数を表 2-4-83 にまとめる。初期含有全塩化物イオン濃度、質量含水率及び表層透気係数が相対的に劣化速度に及ぼす影響が大きいことが看取された。

表 2-4-83 相関係数

項目	相関係数
初期含有全塩化物イオン濃度	0.01~0.74
塩化物イオンの見掛けの拡散係数	—
質量含水率	0.66
表層透気係数	0.35
かぶり厚さ	0.08
総細孔量	0.05

## 10) まとめ及び今後の課題

端島炭坑跡に残存する鉄筋コンクリート造建築物はいずれも、鉄筋の腐食による鉄筋コンクリート部材の損傷が生じており、補修・補強が必要な状態に陥っている。ただし、鉄筋の腐食及び鉄筋コンクリート部材の損傷の程度は、建設されてからの経過年数、飛来塩分量、及び鉄筋コンクリート部材への水分の供給状況によって異なっている。3号棟のように経過年数が浅く、飛来塩分量も少ない鉄筋コンクリート造建築物においては、鉛直荷重支持性能残存率および耐震性能残存率は高く、建築当初の構造安全性をある程度保持し続けている建物もある。一方、飛来塩分量の多い場所に建設された鉄筋コンクリート造建築物については、鉄筋の腐食が過度に進行し、一部の部材が崩落しているものもあり、かろうじて鉛直荷重支持性能を確保できているだけであり、耐震性能は全くないと考えられる建物（25号棟・30号棟・57号棟・67号棟・ちどり荘）も存在している状況にある。

しかしながら、端島炭坑跡に残存する鉄筋コンクリート造建築物の鉛直荷重支持性能及び耐震性能を適切に評価するためには、劣化の生じていない竣工当初の状態での鉛直荷重支持性能及び耐震性能を評価する必要があり、その評価を実施するためには、各鉄筋コンクリート造建築物のコンクリート強度及び配筋状態を正確に把握する必要がある。そして、それらのデータを基に、劣化の進行状況に応じた鉛直荷重支持性能残存率及び耐震性能残存率を考慮して、現在の鉛直荷重支持性能及び耐震性能を推定する必要がある。

### (3) 材料強度試験

端島炭坑跡に存する居住施設の現況把握のため、現時点における劣化状況を科学的に調査・分析することを目的として、下記の項目について調査を行った。

- 1) 居住施設（3号棟・16号棟・65号棟）についてコンクリート圧縮強度等の調査
- 2) 居住施設の現況としてのコンクリート中の pH および塩化物イオンの分布状況
- 3) マルコフ連鎖による劣化予測

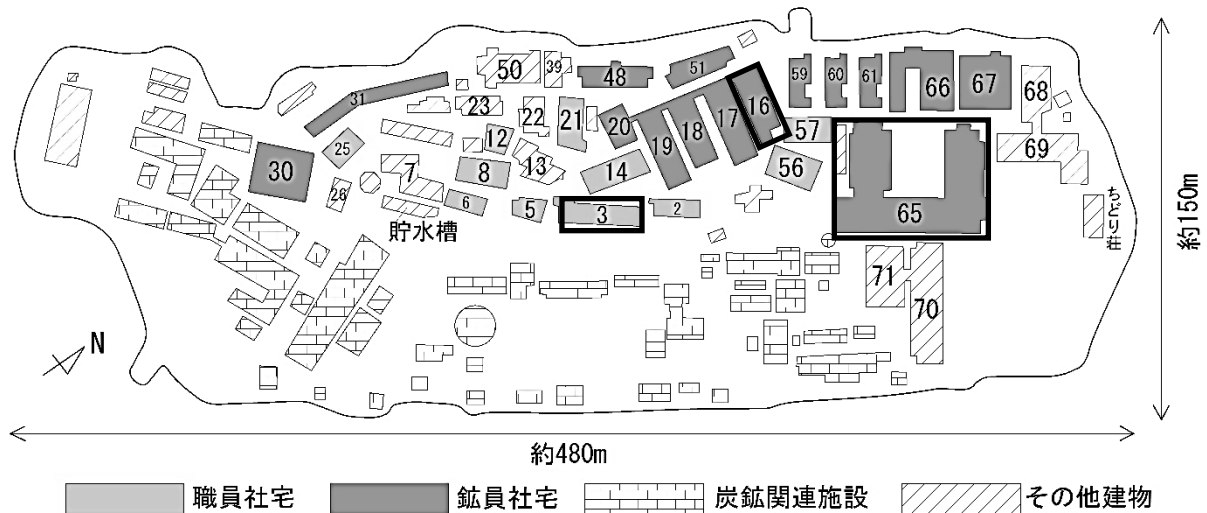


図 2-4-106 調査対象建物位置図

#### 1) 3号棟・16号棟・65号棟におけるコンクリート圧縮試験の結果

3号棟・16号棟・65号棟においてコンクリートコアを採取し、圧縮試験を実施した。各棟におけるコアの採取位置を図 2-4-107～109 に、圧縮試験の結果を表 2-4-84～86 にそれぞれ示す。いずれの建物においても標準偏差は大きいものの、圧縮強度の平均値は、3号棟で  $18.4(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、16号棟で  $21.6(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、65号棟で  $15.2(\text{N}/\text{mm}^2)$  となり、建設年当時の一般的なコンクリート強度と同等以上の値を示した。なお、現状の劣化状況を考慮して構造安全性を考えると、3号棟は現行の耐震基準に従えばほぼ問題なく、大地震に対する危惧はあるものの中地震であれば倒壊の危険性は低い。

一方、16号棟や65号棟の構造性能は不十分であり、中地震でも甚大な被害を受ける懸念がある。

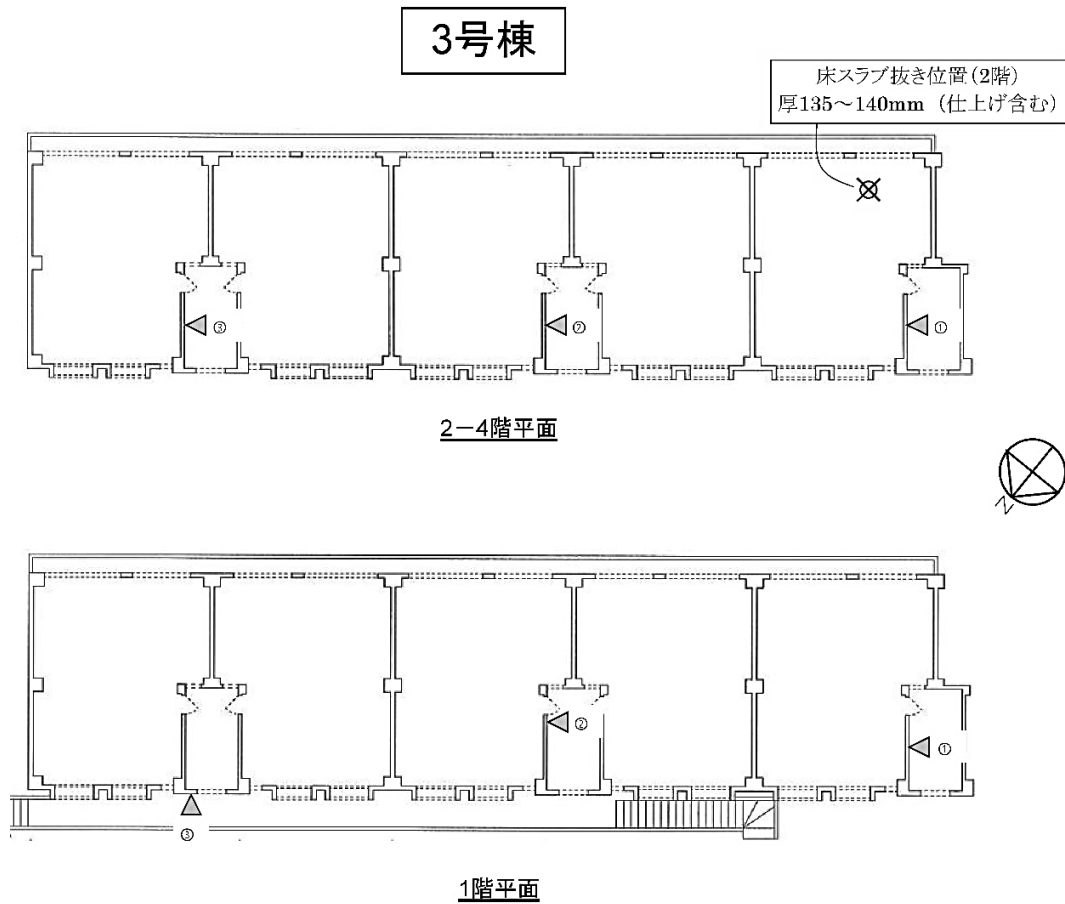


図 2-4-107 3号棟における圧縮試験用コンクリートコア採取位置

表 2-4-84 コンクリート圧縮試験の結果 (3号棟)

階	コア番号	直径d (mm)	高さh (mm)	h/d	補正係数 JISA1107	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数 (104N/mm <sup>2</sup> )
						補正前	補正後	
4	①	103	113	1.10	0.893	31.2	27.8	1.32
	②	103	129	1.26	0.931	15.4	14.3	1.46
	③	103	133	1.29	0.935	19.6	18.3	1.65
	平均						22.0	20.1
3	①	104	136	1.31	0.937	22.3	20.9	1.30
	②	103	131	1.27	0.932	21.0	19.6	1.86
	③	104	132	1.28	0.933	13.8	12.9	1.58
	平均						19.0	17.8
2	①	103	137	1.33	0.939	20.6	19.3	2.37
	②	103	137	1.33	0.940	20.3	19.0	1.57
	③	103	125	1.21	0.921	17.5	16.1	1.15
	平均						19.4	18.1
1	①	103	145	1.41	0.949	18.3	17.4	1.70
	②	103	150	1.46	0.955	19.0	18.1	1.89
	③	103	124	1.21	0.919	18.7	17.2	1.09
	平均						18.7	17.6
総平均						19.8	18.4	1.58
標準偏差						4.3	3.7	0.36



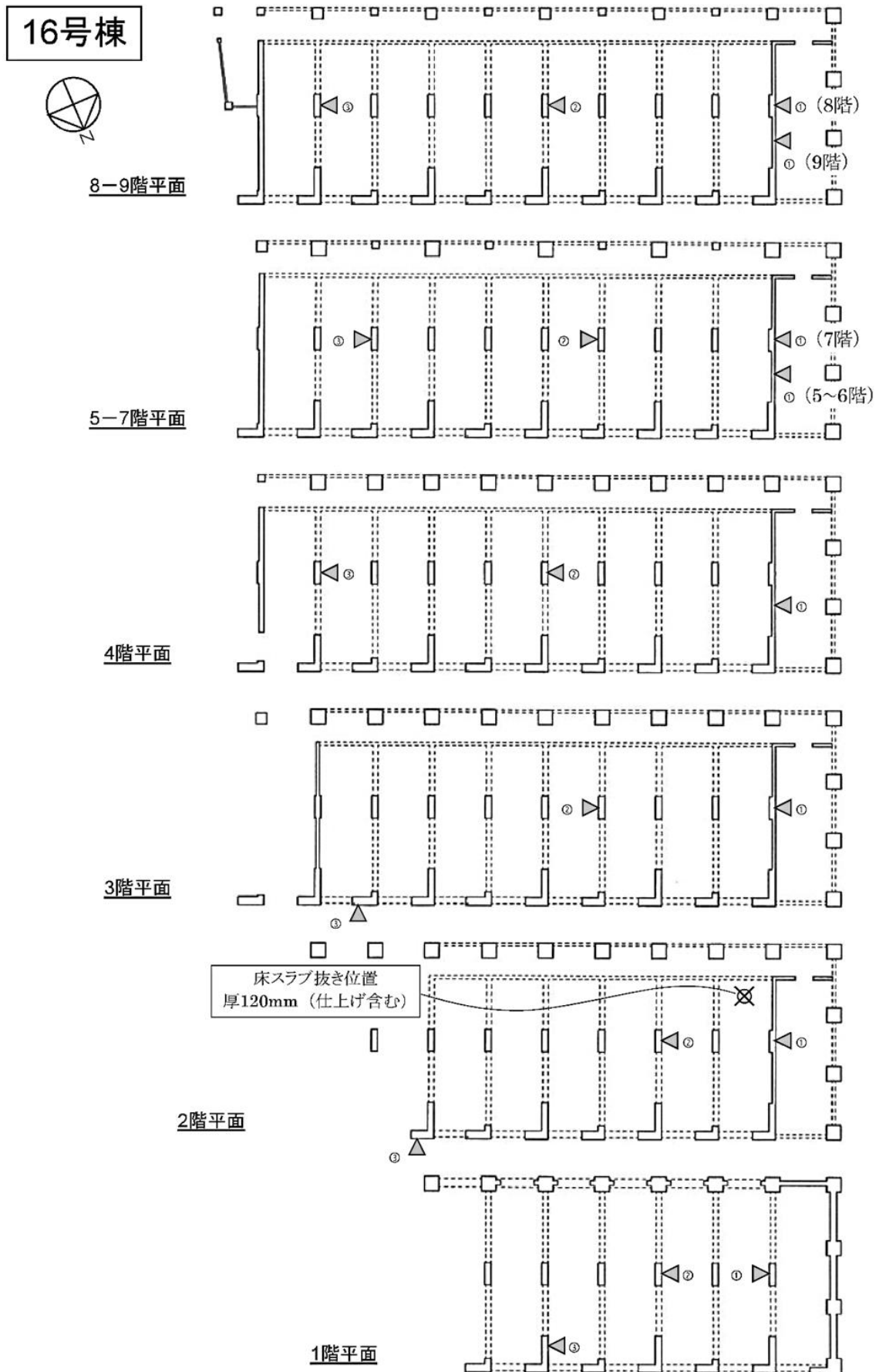


図 2-4-108 16号棟における圧縮試験用コンクリートコア採取位置

表 2-4-85 コンクリート圧縮試験の結果 (16 号棟)

階	コア番号	直径d (mm)	高さh (mm)	h/d	補正係数 JIS A1107	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
						補正前	補正後
9	①	104	207	1.99	1.000	24.3	24.3
	②	104	193	1.86	0.989	17.8	17.6
	③	104	174	1.67	0.974	24.5	23.8
	平均						22.2
8	①	104	180	1.74	0.979	18.5	18.1
	②	104	171	1.64	0.971	18.4	17.9
	③	104	178	1.72	0.977	29.0	28.3
	平均						22.0
7	①	104	190	1.83	0.986	27.2	26.8
	②	104	192	1.84	0.987	15.9	15.7
	③	104	171	1.65	0.972	16.9	16.4
	平均						20.0
6	①	104	146	1.41	0.949	27.6	26.1
	②	104	204	1.97	1.000	23.6	23.6
	③	104	192	1.84	0.988	27.4	27.1
	平均						26.2
5	①	104	141	1.35	0.943	27.8	26.2
	②	104	212	2.04	1.000	20.0	20.0
	③	104	201	1.93	1.000	15.8	15.8
	平均						21.2
4	①	104	138	1.33	0.939	20.0	18.8
	②	104	145	1.40	0.948	32.8	31.1
	③	104	126	1.22	0.922	34.2	31.6
	平均						29.0
3	①	104	145	1.39	0.947	13.1	12.4
	②	104	208	2.00	1.000	18.6	18.6
	③	104	164	1.58	0.966	22.5	21.8
	平均						18.1
2	①	104	157	1.51	0.961	22.1	21.2
	②	104	148	1.43	0.951	23.5	22.4
	③	104	203	1.96	1.000	15.2	15.2
	平均						20.3
1	①	104	190	1.83	0.987	26.1	25.7
	②	104	195	1.87	0.990	13.9	13.7
	③	104	209	2.01	1.000	24.4	24.4
	平均						21.5
総平均						22.3	21.6
標準偏差						5.60	5.30

65号棟

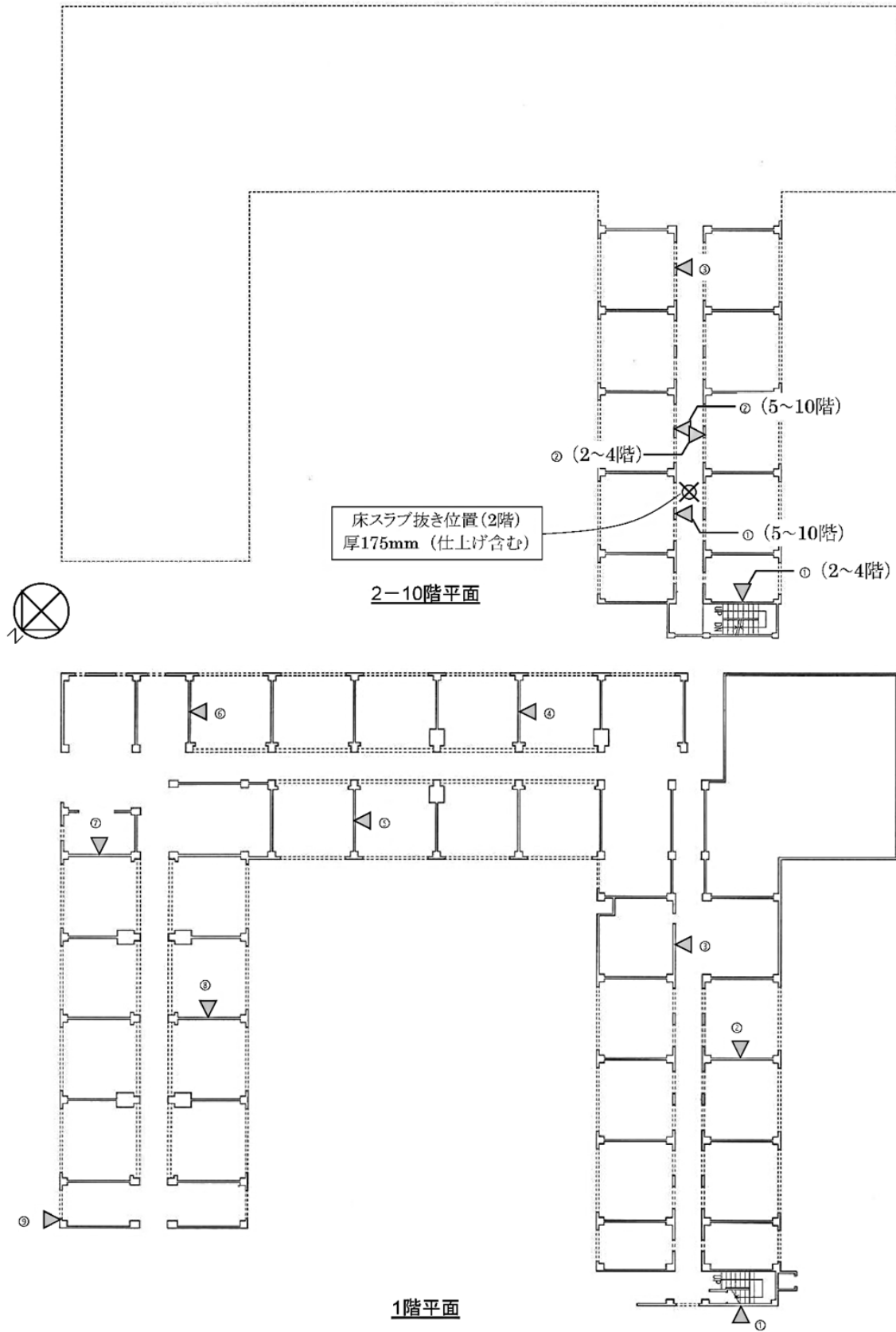


図 2-4-109 65号棟における圧縮試験用コンクリートコア採取位置

表 2-4-86 コンクリート圧縮試験の結果 (65号棟)

階	コア番号	直径d (mm)	高さh (mm)	h/d	補正係数 JISA1107	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		ヤング係数 (104N/mm <sup>2</sup> )
						補正前	補正後	
10	①	84	96	1.15	0.907	15.7	14.2	1.33
	②	84	96	1.15	0.905	7.2	6.5	1.11
	③	84	102	1.23	0.924	10.3	9.5	2.28
	平均						11.1	10.1
9	①	84	113	1.36	0.943	17.3	16.3	1.09
	②	84	106	1.27	0.932	20.3	18.9	1.93
	③	83	107	1.28	0.934	14.5	13.5	1.66
	平均						17.4	16.3
8	①	84	106	1.27	0.932	11.8	11.0	1.77
	②	83	110	1.32	0.939	13.3	12.5	3.74
	③	84	99	1.18	0.914	15.0	13.7	1.61
	平均						13.4	12.4
7	①	84	111	1.32	0.939	14.0	13.2	0.97
	②	83	92	1.1	0.895	16.9	15.1	1.09
	③	83	101	1.21	0.92	11.5	10.5	0.93
	平均						14.1	12.9
6	①	83	113	1.36	0.943	12.5	11.8	6.84
	②	84	95	1.14	0.903	11.6	10.5	2.93
	③	84	109	1.3	0.937	15.2	14.3	1.95
	平均						13.1	12.2
5	①	84	111	1.32	0.938	25.4	23.8	1.95
	②	84	102	1.22	0.923	23.9	22.1	2.27
	③	84	110	1.32	0.938	15.8	14.9	2.16
	平均						21.7	20.2
4	①	83	152	1.82	0.986	24.9	24.5	1.70
	②	84	86	1.02	0.876	18.1	15.9	0.67
	③	83	100	1.19	0.917	17.5	16.0	2.72
	平均						20.2	18.8
3	①	83	171	2.05	1.000	13.9	13.9	1.29
	②	83	95	1.14	0.903	21.2	19.1	1.38
	③	104	95	0.92		16.6	—	1.56
	平均						17.3	16.5
2	①	104	181	1.74	0.979	15.1	14.7	1.50
	②	84	93	1.11	0.896	17.3	15.5	1.02
	③	104	92	0.89		11.9	—	0.54
	平均						14.7	15.1
1	①	104	187	1.8	0.984	20.1	19.8	1.89
	②	84	172	2.05	1.000	14.9	14.9	1.32
	③	104	205	1.98	1.000	12.7	12.7	1.09
	④	104	129	1.24	0.927	23.4	21.7	2.61
	⑤	103	192	1.85	0.988	11.5	11.4	1.93
	⑥	104	183	1.76	0.981	13.9	13.6	1.97
	⑦	104	192	1.85	0.988	8.3	8.2	1.13
	⑧	104	185	1.79	0.983	15.7	15.4	1.96
	⑨	84	118	1.41	0.949	26.9	25.5	1.96
平均						16.4	15.9	1.76
総平均						16.0	15.2	1.83
標準偏差						4.7	4.5	1.08

2) 居住施設の現況としてのコンクリート中の pH および塩化物イオンの分布状況

3号棟・16号棟・65号棟においてコンクリートコアを採取し、塩化物イオンの分布測定を実施した。なお、各棟におけるコアの記号説明は例として、「3-1-1C=3号棟 1階①」として表記している。また、縦の点線は中性化深さ、ハッチングは未中性化部分を示している。

3号棟・16号棟・65号棟のいずれにおいても屋外に面した部分については表層部ほど塩化物イオン量が多くなっており、飛来塩分の影響が確認される。内在塩分量を見た場合、3号棟においては、屋内及び表層から深い部分では塩化物イオン量  $1\text{kg}/\text{m}^3$  以下であり内在塩分量は少ないことが推測される。

16号棟においては屋内においても塩化物イオン量が多い箇所と少ない箇所があり、内在塩分量には場所による相違があることが確認される。

65号棟については、屋外側の塩化物イオン量が多いものの、それぞれの建設時期において屋内の塩化物イオン量は少なく、飛来塩分による塩化物が支配的であることが推測される。

なお、内在塩分濃度が非常に高い要因としては以下の3つが考えられるが、その確定には更に詳細な調査を実施する必要がある。

- ・海水をコンクリート用練混ぜ水として用いた可能性があること。
- ・海砂・海砂利を洗浄せずにコンクリート用骨材として用いた可能性があること。
- ・高潮の際に何回も海水を被っており内部まで海水が浸透した可能性があること。

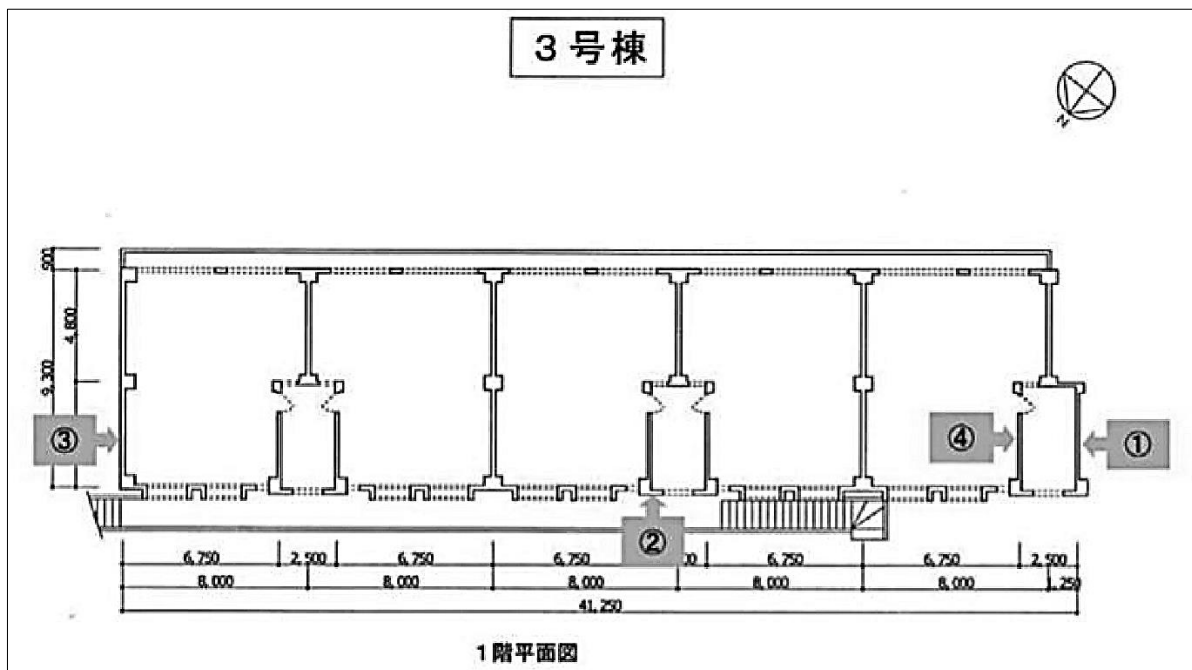


図 2-4-110 3号棟におけるコンクリートコア採取位置

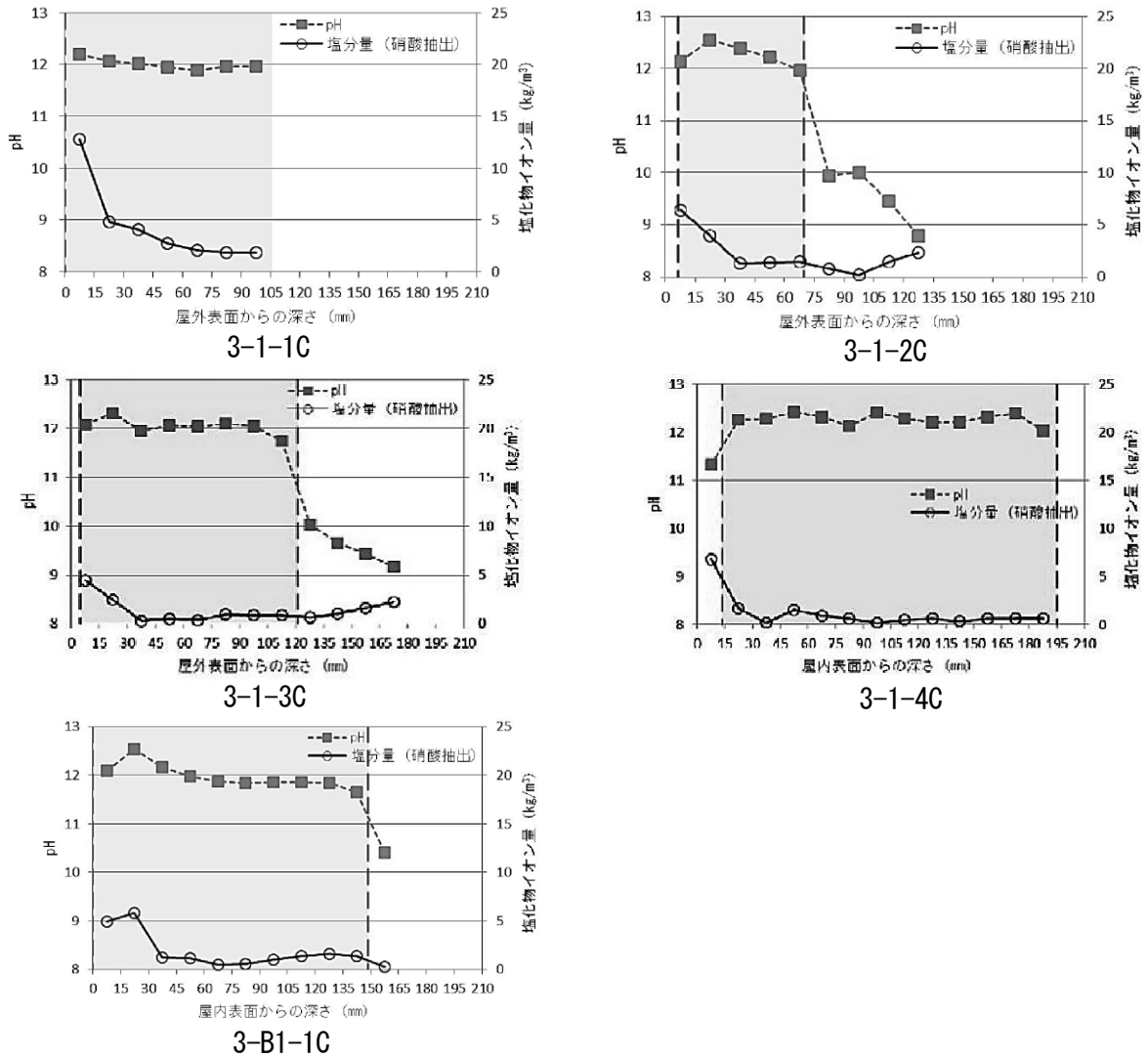


図 2-4-111 3号棟におけるコンクリートの塩化物イオン分布

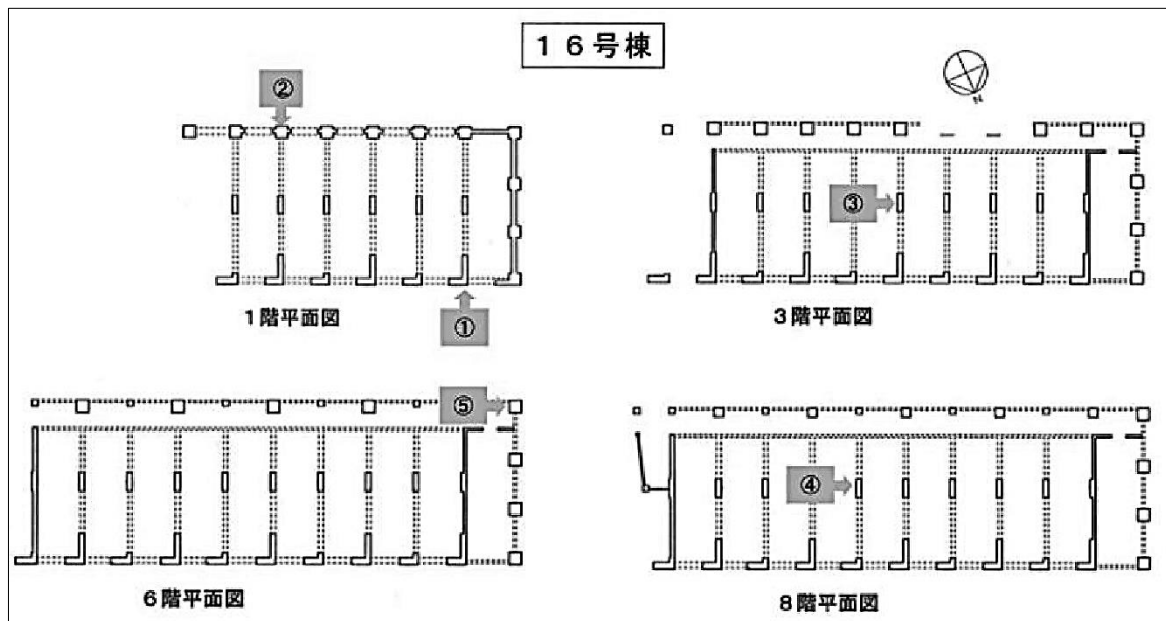


図 2-4-112 16号棟におけるコンクリートコア採取位置

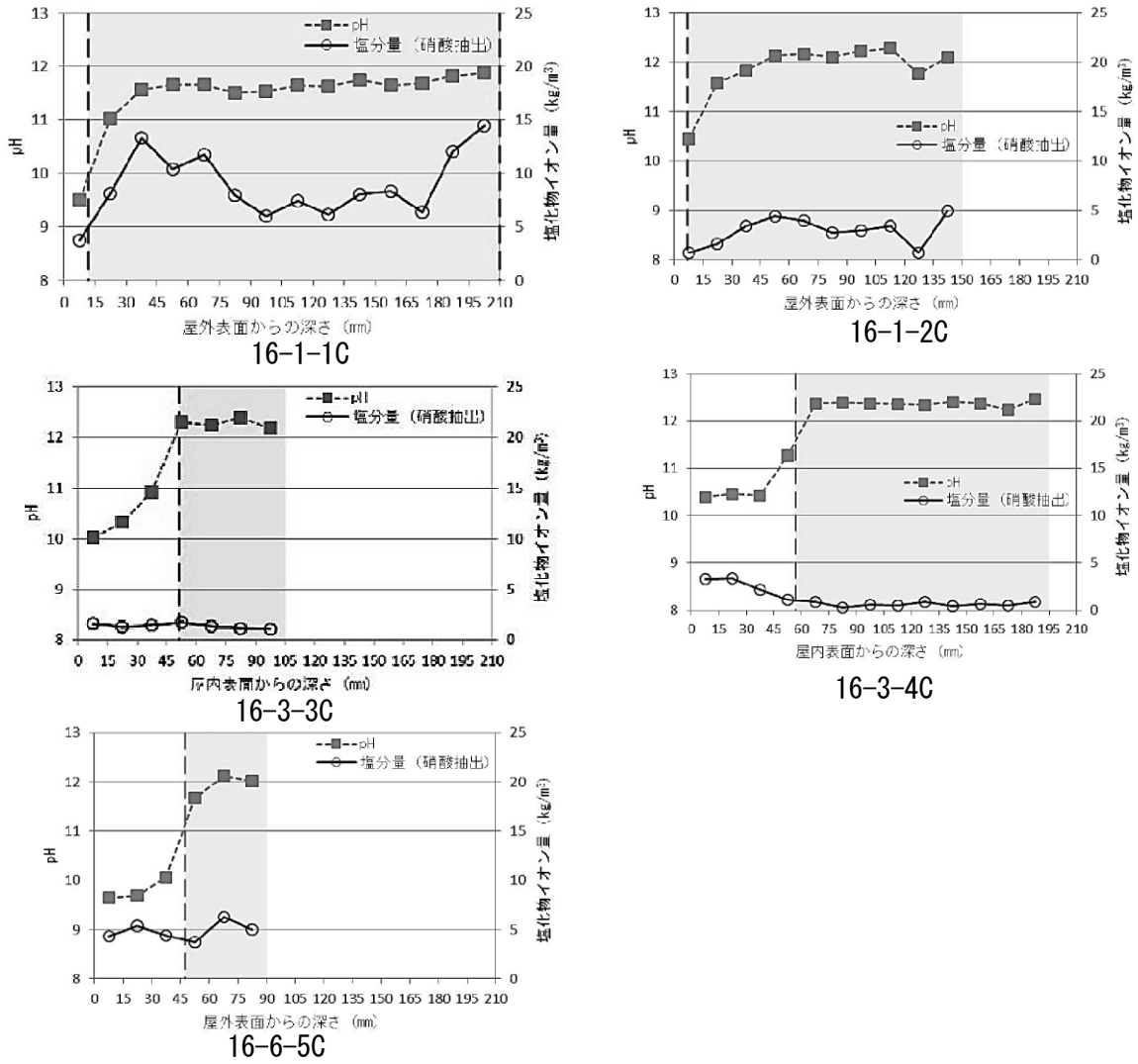


図 2-4-113 16号棟におけるコンクリートの塩化物イオン分布

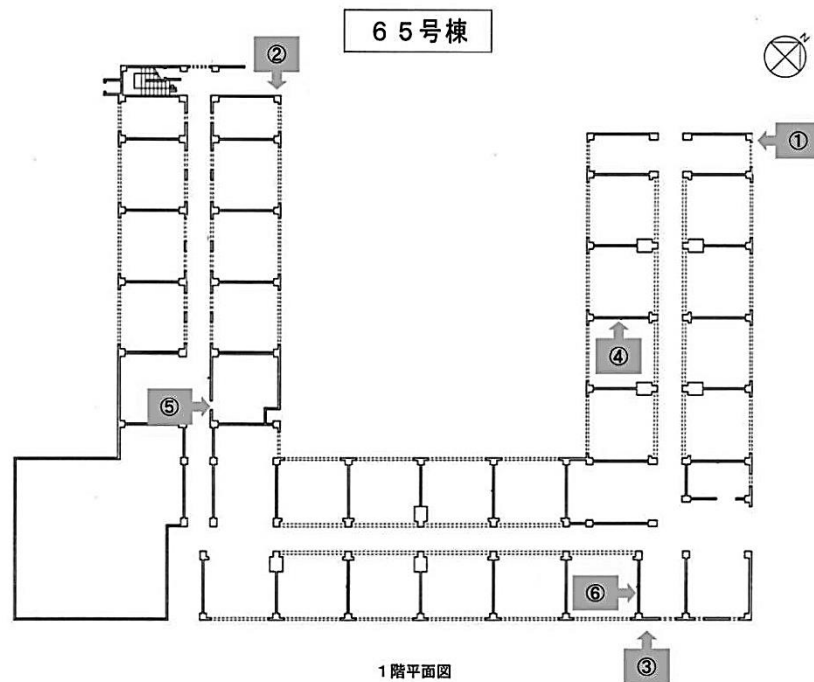
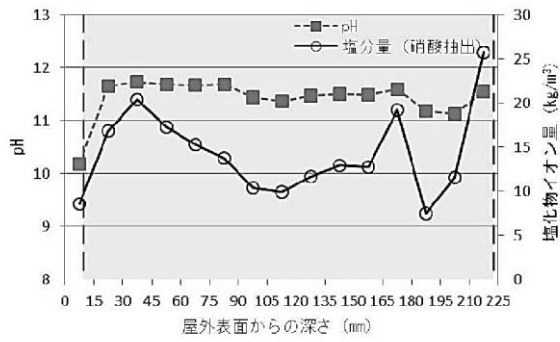
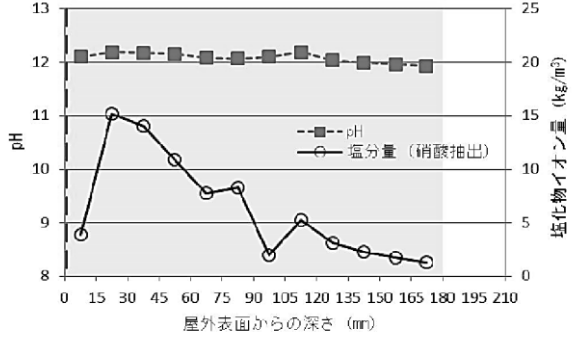


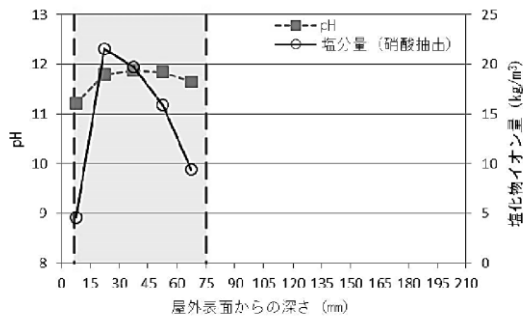
図 2-4-114 65号棟におけるコンクリートコア採取位置



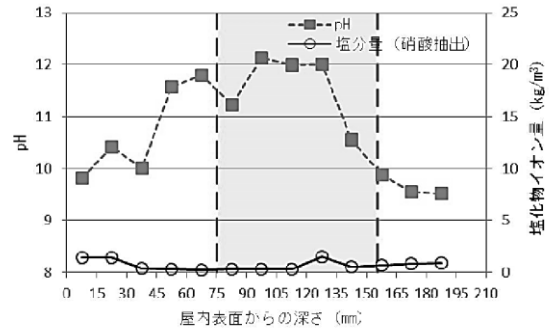
65-1-1C



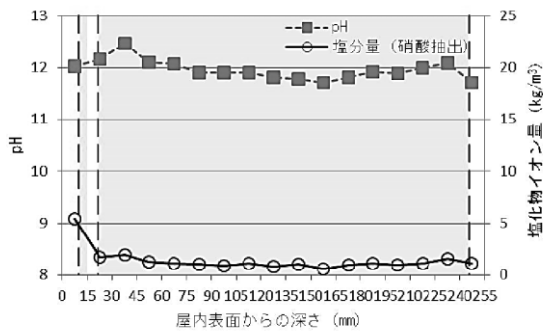
65-1-2C



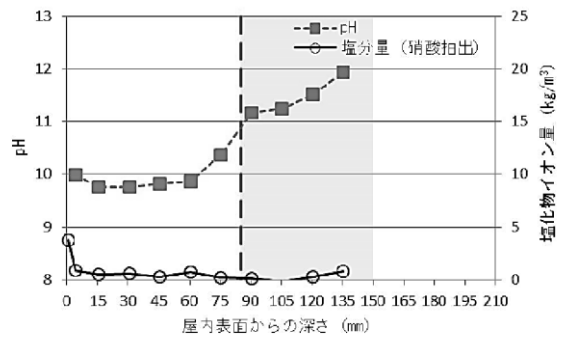
65-1-3C



65-1-4C



65-1-5C



65-1-6C

図 2-4-115 65号棟におけるコンクリートの塩化物イオン分布



### 3) マルコフ連鎖による劣化予測

端島炭坑跡の鉄筋コンクリート造建築物群に対し、3号棟・16号棟・17号棟・18号棟・19号棟・20号棟・65号棟・70号棟の構造性能限界年数の算出および補修優先順位の決定を行うことを目的とし、現地調査を通じて劣化環境区分に基づくマルコフ連鎖による鉄筋コンクリート部材の劣化予測手法についての検討と建物の構造性能残存率の将来予測を行った。

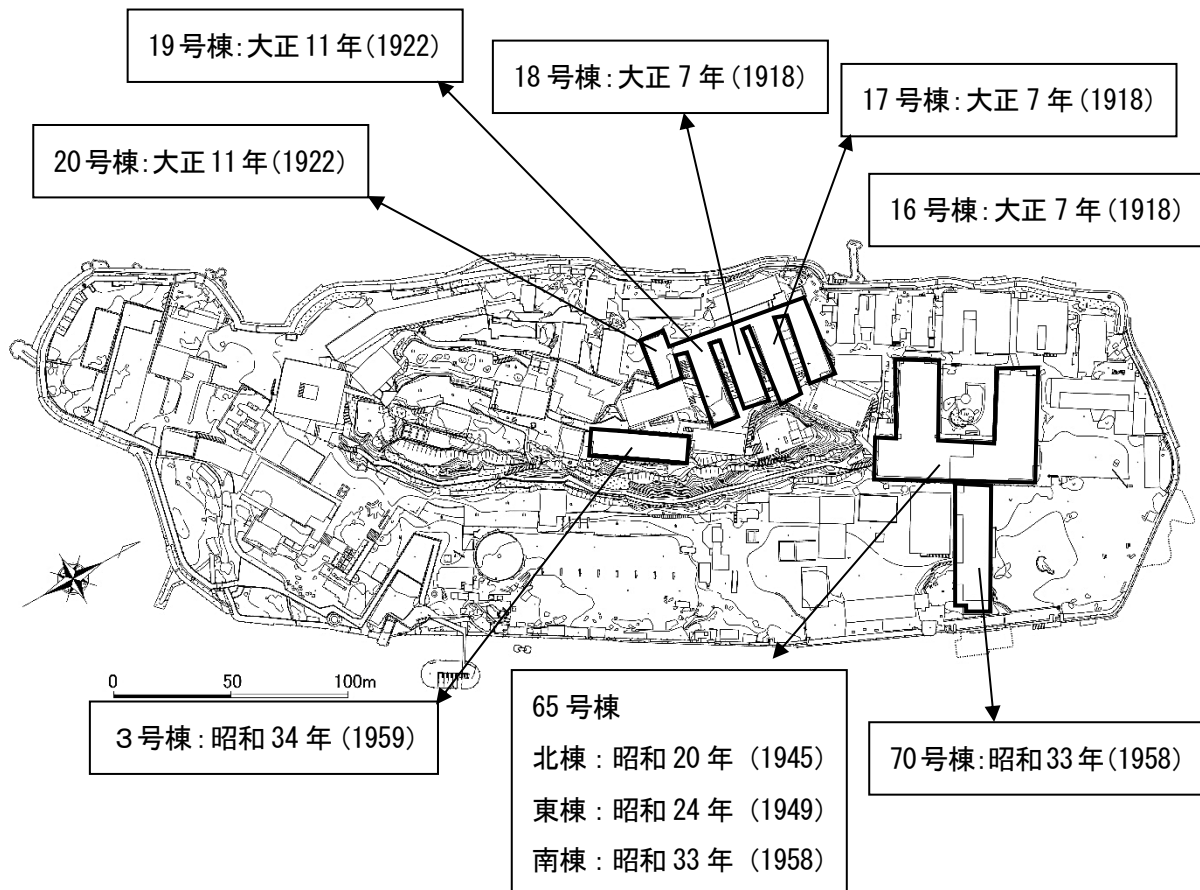


図 2-4-116 対象建物の配置図と建築年

#### ①端島の建物の部材劣化度及び環境調査

部材の劣化環境区分法を考案するに当たり、現地調査及び既往の文献を参考として部材劣化度・かぶり厚さ・部材への雨掛かり量・飛来塩分環境について整理した。

平成 27 年度には、端島の建物全 27 棟を対象として柱・梁・壁部材における劣化度の調査及び主要建物についての配筋調査を行った。また、平成 28 年度には部材上部の軒の出長さの測定及び戸袋等の雨滴遮蔽物の目視調査を行い、さらに既往の『壁面に衝突する雨滴の傾斜角の推定：外壁面におよぼす雨がかり負荷の評価に関する基礎的研究』（石川他 2007）を参考として部材への年積算雨掛かり量を算出した。加えて、端島における年平均飛来塩分量について、『長崎県軍艦島における飛来塩分輸送状況に関する考察』（清水他 2015）・『長崎県軍艦島の塩害環境について』（清水）を参考として把握した。なお、降雨量と風況のデータは気象庁のデータ（野母崎：2006～2015 年）を参考とした。

②調査結果：部材劣化度とかぶり厚さ、部材への年積算雨掛かり量、年平均飛来塩分量の関係

調査結果のまとめは他建物でも同様の傾向であるため、16号棟・17号棟・18号棟・19号棟・20号棟についてのみ示す。図2-4-117に期待劣化度（各劣化度にあたる同一建物の同一雨掛かりにある部材に対する割合から算出される期待値）のグラフ勾配（ $\zeta$ ）と年平均飛来塩分量の関係を示す。

ほぼ全ての場合においてグラフ勾配は正の値をとっており、年平均飛来塩分量が多くなるほど期待劣化度が大きくなる傾向が窺える。図2-4-118に年積算雨掛かり量と全飛来塩分範囲における期待劣化度の平均値の関係を示す。基本的にかぶり厚さが小さいほど、年積算雨掛かり量が増加するほど期待劣化度は大きくなっているが、かぶり厚さが大きくなるほど雨掛かり量の増加に対する期待劣化度の増加量は小さくなっており、80mm程度の大きなかぶり厚さになると雨掛かりの影響が殆どないことが分かる。

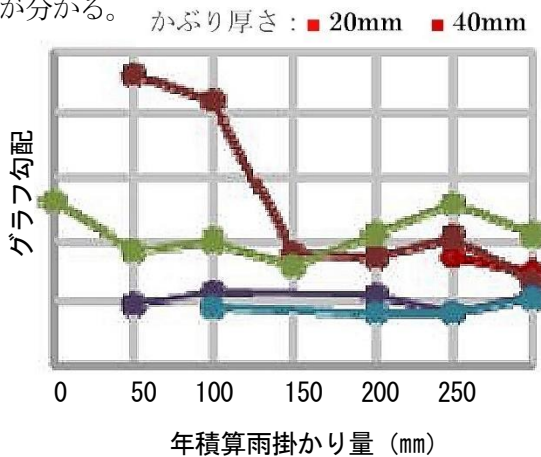


図 2-4-117 年積算雨がかり量とグラフ勾配

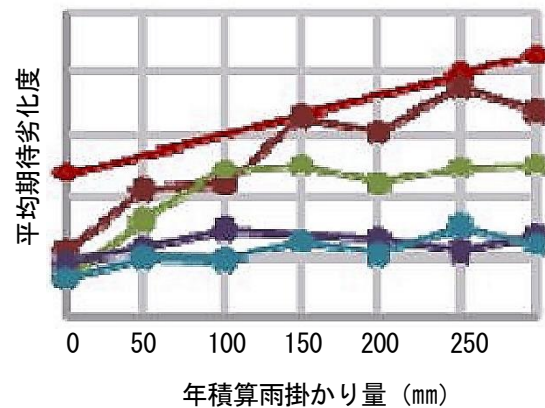


図 2-4-118 年積算雨がかり量と平均期待劣化度

③劣化環境グレード  $G_E$  による劣化環境区分

部材毎の劣化環境の厳しさを判定する指標として劣化環境グレード  $G_E$  を以下手順で作成した。

1. 式の形は調査結果及び過去の鉄筋の腐食速度評価式を参考として、塩分および水分等の腐食物質の侵入に対してかぶり厚さが抵抗として働くという形で立式した。また、かぶり厚さ 80mm 以上においては雨掛かりの影響はないとした。
2. 年平均飛来塩分量・年平均雨掛かり量・かぶり厚さ及び期待劣化度のデータは最もデータ数の多い 16号棟・17号棟・18号棟・19号棟・20号棟のものを使用し、重回帰分析によって各係数を求めた。この際、期待劣化度  $\approx G_E$  と読み替えた。
3. かぶり厚さのデータが無い場合の  $G_E$  の評価式も同様に作成した。

導出された  $G_E$  の評価式を式 1、式 2 に示す。また、 $G_E$  の計算値と実際の期待劣化度との比較を図 2-4-119 に示す。式 1 の場合には概ね適切な評価ができているが、式 2 の場合にはややバラツキが大きくなっている。したがって、 $G_E$  を正しく評価するためにはかぶり厚さのデータは、本来は抜け落ちるべきではないと考えられる。また、式 1・式 2 を用いて部材の劣化環境グレード  $G_E$  を算出し、 $G_E$  の値ごとに式 3 によって遷移確率を求めた結果を表 2-4-87 に示す。 $G_E$  の値の増加に応じて遷移確率の値は大きくなっており、妥当な劣化環境区分を行うことができていると考えられる。

①  $Cl, R, C$  のデータがある場合

$$\begin{cases} G_E = \frac{3.07 C \zeta^{-} + 0.139 R + 42.1}{C} & (C < 80) \\ G_E = \frac{1.16 C \zeta^{-} + 69.8}{C} & (C \geq 80) \end{cases} \quad \text{式 1}$$

②  $C$  のデータが無い場合

$$G_E = 0.00159 C \zeta^{-} + 0.00174 R + 0.91 \quad \text{式 2}$$

$G_E$ : 劣化環境グレード

$Cl$ : 年平均飛来塩分量 [mmd]

$R$ : 年積算雨掛かり量 [mm]

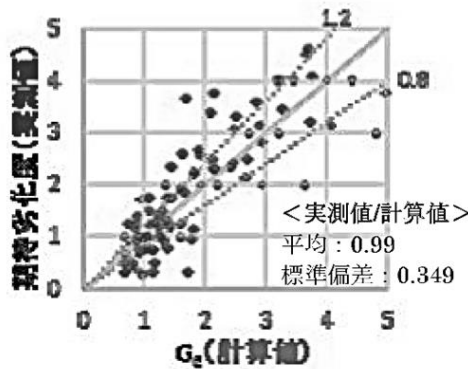
$C$ : かぶり厚さ [mm]

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \\ X_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-P_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_0 & 1-P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_1 & 1-P_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_2 & 1-P_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_3 & 1-P_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_4 & 1 \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{式 3}$$

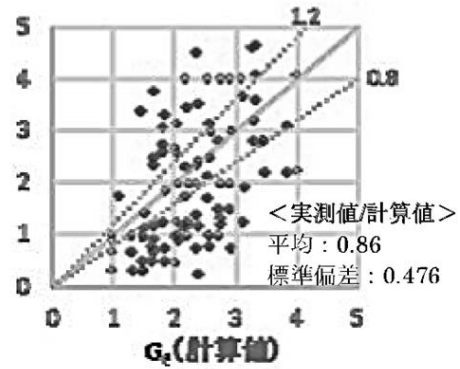
$X_{0\sim v}$ : 現在の劣化度の割合

$P_{0\sim 4}$ : 遷移確率

$t$ : 築年数



(a)式 1の適用



(b)式 2の適用

図 2-4-119 実測値/計算値の比較: 16号棟~20号棟

表 2-4-87 劣化環境区分後の各棟の遷移確率

GE	遷移確率	16~20号棟	3号棟	65号棟 (北)	65号棟 (東)	65号棟 (南)	70号棟	平均値
1	P0	0.0088	0.0079	0.0109	0.0075	0.0104	0.0136	0.0099
	P1	0.0179	0.0172	0.0378	0.0226	0.0163	0.0183	0.0217
	P2	0.0344	0.0245	0.0397	0.0269	0.0149	0.0341	0.0291
	P3	0.0307	0.1164	0.0334	0.0266	0.0246	0.0401	0.0453
	P4	0.0266	0.0387	0.0314	0.0355	0.0250	0.0348	0.0320
2	P0	0.0184	0.0148	0.0148	0.0148	0.0130	0.0127	0.0148
	P1	0.0214	0.0188	0.0417	0.0795	0.0175	0.0229	0.0336
	P2	0.0546	0.0607	0.0237	0.0350	0.0545	0.0798	0.0514
	P3	0.0350	0.1059	0.0553	0.0583	0.0726	0.0480	0.0620
	P4	0.0209	0.0390	0.0301	0.0703	0.0801	0.0403	0.0468
3	P0	0.0250	0.0185	0.0133	0.0303	0.0145	0.0176	0.0198
	P1	0.0470	0.0303	0.0852	0.0385	0.0483	0.0323	0.0469
	P2	0.0540	0.1020	0.0502	0.0334	0.2141	0.1206	0.0957
	P3	0.0329	0.1496	0.0680	0.1003	0.0864	0.0400	0.0795
	P4	0.0189	0.0404	0.0385	0.0661	0.0393	0.0421	0.0409
4	P0	0.0464	-	0.0245	0.0193	-	0.0776	0.0419
	P1	0.0377		0.0715	0.0385		0.0319	0.0449
	P2	0.0647		0.0719	0.1522		0.1034	0.0981
	P3	0.0506		0.1104	0.1161		0.0472	0.0811
	P4	0.0239		0.0394	0.0414		0.0473	0.0380
5	P0	0.0464	-	0.0637	-	-	-	0.0550
	P1	0.0492		0.0483				0.0488
	P2	0.0839		0.0623				0.0731
	P3	0.0710		0.2130				0.1420
	P4	0.0201		0.0376				0.0289
区分無し	P0	0.0116	0.0118	0.0124	0.0141	0.0113	0.0142	0.0126
	P1	0.0215	0.0252	0.0435	0.0516	0.0236	0.0203	0.0309
	P2	0.0457	0.0596	0.0417	0.0390	0.0363	0.0430	0.0444
	P3	0.0361	0.1238	0.0492	0.0530	0.0625	0.0440	0.0615
	P4	0.0240	0.0493	0.0374	0.0613	0.0598	0.0419	0.0456

④主要建物の構造性能の将来予測

表 2-4-87 の遷移確率を用いて各部材の期待劣化度の変化を予測し、各建物の各階における鉛直荷重支持性能の残存率  $R_L$  の最小値の予測を行った。

$R_L$  の許容値は耐震性能残存率  $R$  の大破の基準を参考として 60% とし、 $R_L$  が 60% に達する年数が早い建物を上から順に図 2-4-120 に示した。

図 2-4-120 に示す通り、補修優先順位は順に 16 号棟・20 号棟・65 号棟（北）・65 号棟（東）・19 号棟・17 号棟・18 号棟・65 号棟（南）・70 号棟・3 号棟となった。

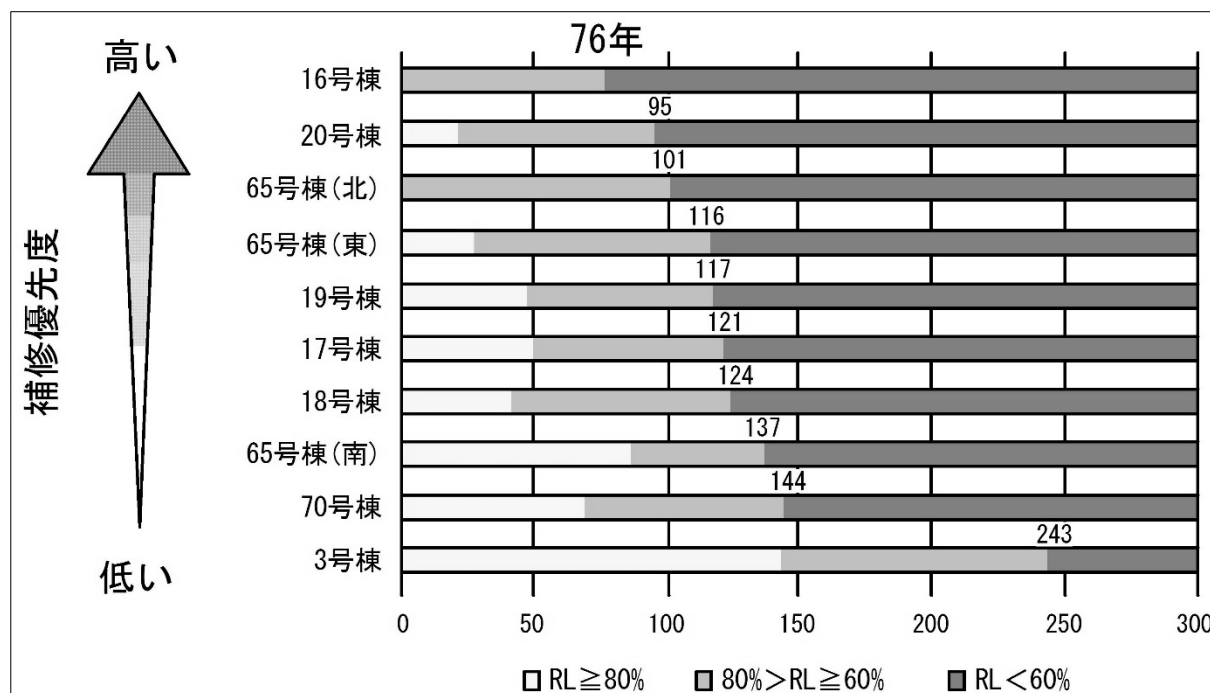


図 2-4-120 R L の将来予測に基づく補修優先順位の決定

4) まとめ

調査の結果、以下の成果を残すことができた。

1. 端島での現地調査及び過去の調査成果から、年平均飛来塩分量及び年積算雨掛かり量が多い程、かぶり厚さが小さいほど期待劣化度が大きくなることが確認された。但し、かぶり厚さ 80mm 以上では雨掛かりの影響はほとんどなくなることが確認された。
2. 年平均飛来塩分量、年積算雨掛かり量、かぶり厚さと期待劣化度の関係から、劣化環境グレード  $G_e$  の指標を作成した。 $G_e$  によって部材の劣化環境区分を行い、マルコフ連鎖を適用することで遷移確率を妥当に評価することができた。
3. マルコフ連鎖に基づく劣化予測と鉛直荷重支持性能の残存率  $R_L$  の評価を組み合わせ、建物の構造性能の将来予測を行い補修優先順位の決定を行った。

