

參考資料

①外壁等剥落(判定式の検討)

○基準(判定式)の検討

(1)現地調査から得られた劣化事象と鉄筋腐食の関係

10棟903箇所の調査により、**目視により観測された劣化事象**(=劣化グレード・表2)と、コンクリート内部を確認することにより得られた**鉄筋腐食の状況**(=鉄筋腐食グレード・表3)は、以下の表1の通りであった。

(表1) 劣化事象と鉄筋腐食の関係

箇所数		劣化グレード				
		0	1	2	3	計
鉄筋腐食グレード	1	145	273	20	21	459
	2	76	82	14	28	200
	3	24	23	45	50	142
	4	5	14	10	31	60
	5	0	1	7	34	42
	計	250	393	96	164	903

(表2) 劣化事象と劣化グレード

劣化グレード	劣化事象
0	なし
1	外装の浮き、仕上げの劣化(塗材の劣化を除く)、コンクリート表層のひび割れ、エフロレッセンス・白華
2	鉄筋に沿ったひび割れ、錆汁
3	鉄筋に沿った浮き・剥離、鉄筋露出

※劣化グレードは今回の調査で新たに設定

(表3) 鉄筋腐食グレードと評価基準

グレード	症状
1	腐食が無い状態、または表面にわずかな点さびが生じている状態
2	表面に点さびが広がっている状態
3	点さびが広がって面さびとなり、部分的に浮きが生じている状態
4	浮きさびが広がって生じ、コンクリートにさびが付着し、断面積で20%以下の欠損を生じている箇所がある状態
5	厚い層状のさびが広がって生じ、断面積で20%を超える著しい欠損を生じている箇所がある状態

※鉄筋腐食グレードは「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説(日本建築学会)」による

①外壁等剥落(判定式の検討)

(2)剥落等の危険性が高い鉄筋腐食グレードの設定

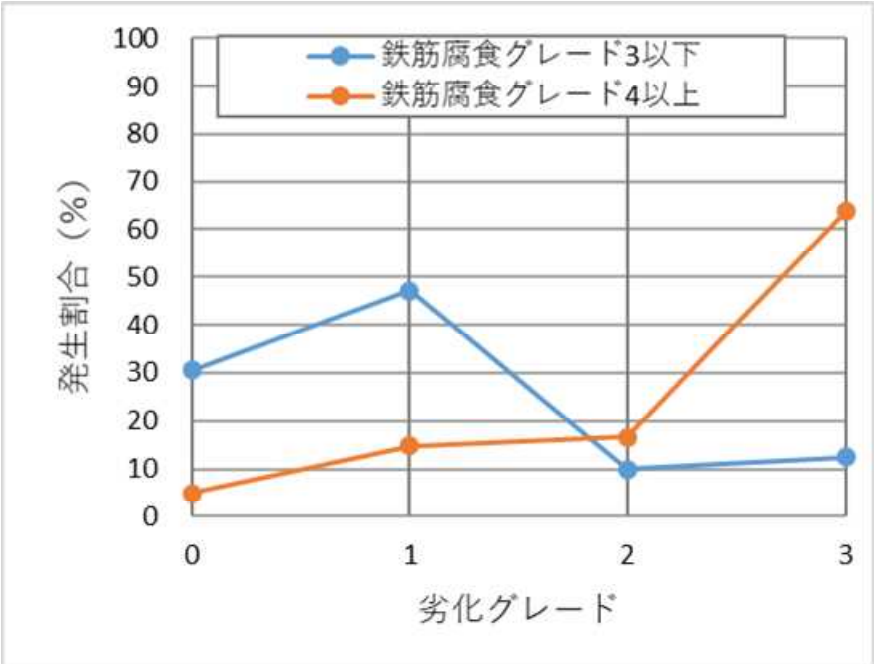
浮きさびが広がって発生することにより、鉄筋コンクリート内部からのひび割れや鉄筋とコンクリートの剥離が生じ、鉄筋腐食グレードが4以上になると剥落等の危険性が高いものと考えられるため、鉄筋腐食グレード4以上が発生している可能性が高いことを判定する基準とする。

【参考】

劣化グレード3の劣化事象(=剥落等に直結する劣化事象)が観測された割合が、鉄筋腐食グレード3以下では12.36%であるのに対し、鉄筋腐食グレード4以上では63.73%に達する。(表4)

(表4) 鉄筋腐食グレード(3以下、4以上)と劣化グレードの関係

劣化グレード発生割合%		劣化グレード			
		0	1	2	3
鉄筋腐食グレード	1,2,3	30.59	47.19	9.86	12.36
	4,5	4.90	14.71	16.67	63.73



(図1) 鉄筋腐食グレード(3以下、4以上)と劣化グレードの相関

①外壁等剥落(判定式の検討)

(3)鉄筋腐食グレードが3以下の場合に、劣化事象が一定数観測される確率

鉄筋腐食グレードが3以下の場合にも、一定の劣化事象は観測される。(表5)

しかし、「鉄筋腐食グレードが3以下である」という仮説を立てながら、劣化事象の観測数があまりに多くなり、確率的に極めて稀な状況にあるのであれば、当初の仮説が誤っていたということになり、少なくとも1以上の調査点において「鉄筋腐食グレードが4以上である」ことが言える。

なお、以後の考察に当たっては、次のことを前提として考える。

- 1) 調査点は十分に離れており、劣化事象がお互いに干渉することはない。
- 2) 劣化グレード2や3は、単独で確率的に生じるものではなく、劣化グレード1から2へ、2から3へと遷移する可能性が高い。したがって、劣化グレード1と2については、それぞれで観測数とその発生確率を考えるのではなく、劣化グレード1-3の観測数、劣化グレード2-3の観測数により考えることとする。

(表5) 鉄筋腐食グレードが3以下の場合に、ある劣化グレードが観測された割合

劣化グレード発生割合(%)	劣化グレード		
	1	2	3
鉄筋腐食グレード 1,2,3	47.19%	9.86%	12.36%

劣化グレード2~3
22.22%

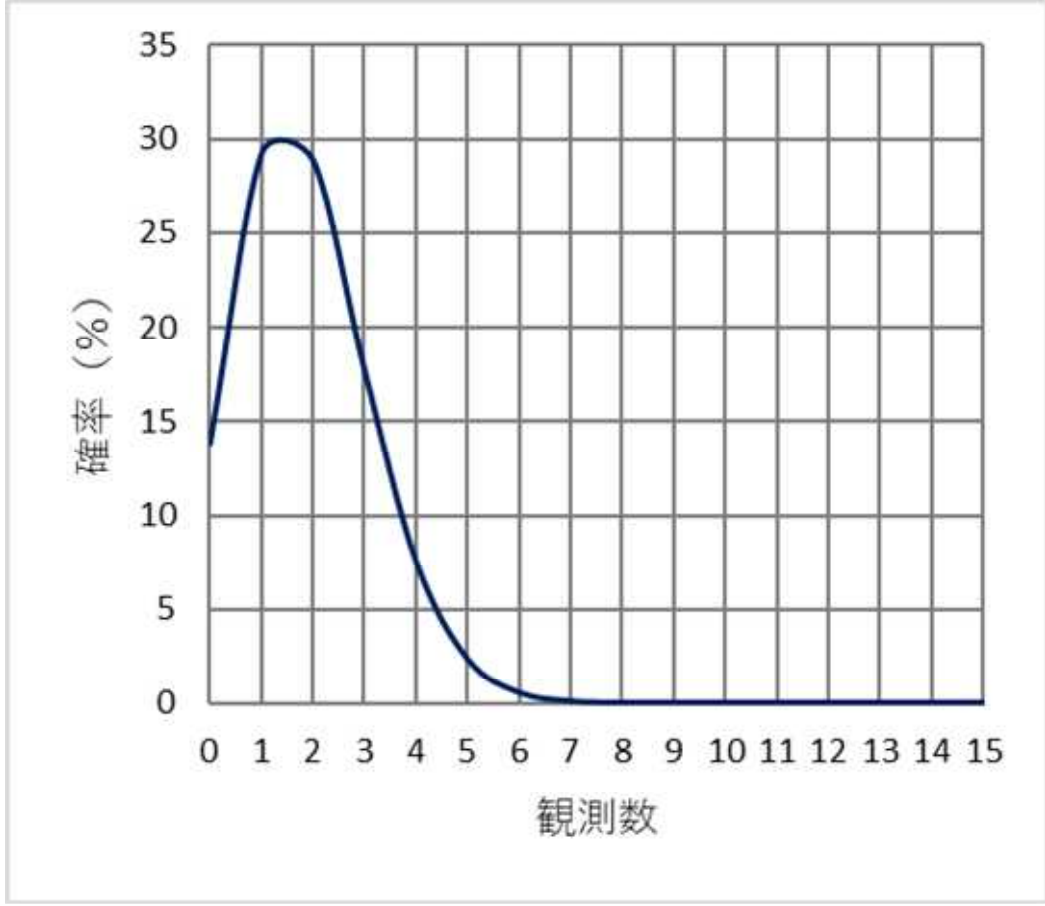
劣化グレード1~3
69.41%

①外壁等剥落(判定式の検討)

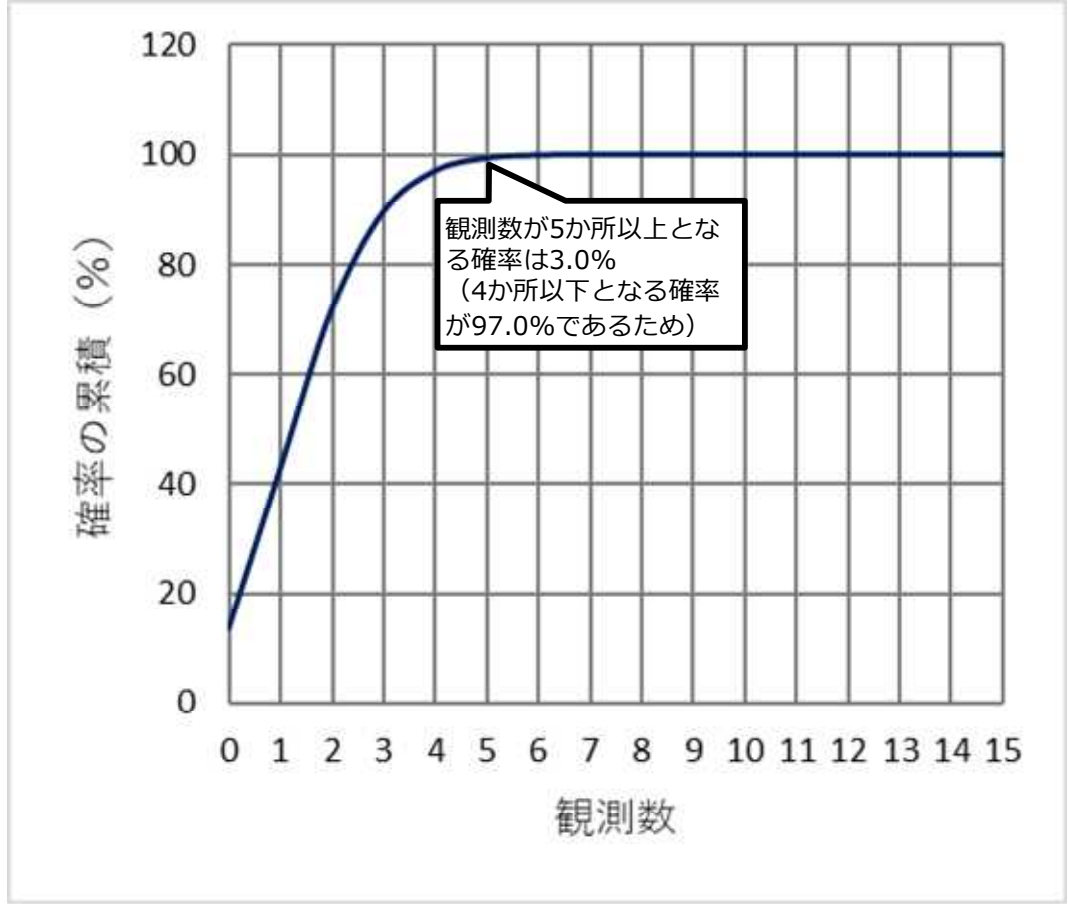
(4)劣化グレード3の観測数と判定式

鉄筋腐食グレードが3以下であるにも関わらず、n箇所の調査箇所数に対して劣化グレード3がk箇所で観測される確率は、成功数=k、試行回数n、成功率12.36%の二項分布に従う。(図2)

この累積確立を考えた場合、仮に検定値を95%とすると、95%を初めて超えた観測数+1が「稀な観測数」と言える。(図3)



(図2) 調査箇所数15の場合における劣化グレード3の観測数と発生確率



(図3) 調査箇所数15の場合における劣化グレード3の観測数と累積確率

①外壁等剥落 (判定式の検討)

調査箇所数n=8,15,30,60,120のそれぞれについて累積確率を求め、検定値90%,95%,99%のそれぞれについて、劣化グレード3の観測数と観測率(=調査箇所数に対する観測数の割合)を求めた結果は、表6・表7の通り。

(表6) 調査箇所数毎の劣化グレード3の観測数と累積確率

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
調査箇所数	8	34.80%	74.07%	93.45%	98.92%	99.88%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%	—	—	—	
	15	13.82%	43.06%	71.92%	89.56%	97.03%	99.34%	99.89%	99.98%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100
	30	1.91%	9.99%	26.52%	48.28%	68.99%	84.17%	93.10%	97.41%	99.16%	99.76%	99.94%	99.99%	100
	60	0.04%	0.35%	1.63%	5.13%	12.17%	23.29%	37.67%	53.30%	67.92%	79.82%	88.38%	93.87%	97
	120	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.06%	0.20%	0.58%	1.46%	3.21%	6.28%	11.10%	17.88%	20

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
7%	97.03%	98.68%	99.46%	99.79%	99.93%	99.98%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
8%	26.57%	36.75%	47.73%	58.67%	68.79%	77.52%	84.57%	89.91%	93.71%	96.26%	97.88%	98.85%	99.41%	99.71%

(表7) 調査箇所数毎の検定値別の観測数と観測率

		検定値90%		検定値95%		検定値99%	
		観測数	観測率	観測数	観測率	観測数	観測率
調査箇所数	8	3	37.5%	4	50.0%	5	62.5%
	15	5	33.3%	5	33.3%	6	40.0%
	30	7	23.3%	8	26.7%	9	30.0%
	60	12	20.0%	13	21.7%	15	25.0%
	120	21	17.5%	22	18.3%	25	20.8%

①外壁等剥落(判定式の検討)

検定値は95%を採用する。また、調査箇所数は、少ない場合には外壁西面などで8箇所程度になる可能性もあるが、外壁南面では4戸×4階、6戸×5階とより多くの調査点を調査できる可能性もある。調査箇所数は多くなるほど、観測率の閾値は低くなるので、調査箇所数が8以上・15以上・30以上の3つに場合分けをして、判定式を考える。

調査箇所数に応じて、劣化グレード3の観測率が表7の値以上となれば、鉄筋腐食グレード4以上がどこかで発生している可能性が高いものと考えられることから、以下の判定式が求められる。

【劣化グレード3に関する判定式】

劣化グレード3の観測数÷調査箇所数について、

調査箇所数が8以上14以下の場合：0.50以上であること

調査箇所数が15以上29以下の場合：0.34以上であること

調査箇所数が30以上の場合：0.27以上であること

①外壁等剥落(判定式の検討)

(5)劣化グレード2又は3の観測数と判定式

鉄筋腐食グレードが3以下であるにも関わらず、n箇所の調査箇所数に対して劣化グレード2又は3がk個所で観測される確率は、成功数=k、試行回数n、成功率22.22%の二項分布に従う。(4)と同様に、調査箇所数毎の累積確率から検定値別の観測数と観測率を求めると、表8の通りとなる。

(表8) 調査箇所数毎の検定値別の観測数と観測率

		検定値90%		検定値95%		検定値99%	
		観測数	観測率	観測数	観測率	観測数	観測率
調査箇所数	8	4	50.0%	5	62.5%	6	75.0%
	15	6	40.0%	7	46.7%	8	53.3%
	30	11	36.7%	12	40.0%	13	43.3%
	60	19	31.7%	20	33.3%	22	36.7%
	120	34	28.3%	35	29.2%	39	32.5%

調査箇所数に応じて、劣化グレード2又は3の観測率が表8の値以上となれば、鉄筋腐食グレード4以上が発生している可能性が高いものと考えられることから、以下の判定式が求められる。

【劣化グレード2又は3に関する判定式】

劣化グレード2又は3の観測数÷調査箇所数について、
 調査箇所数が8以上14以下の場合：0.63以上であること
 調査箇所数が15以上29以下の場合：0.47以上であること
 調査箇所数が30以上の場合：0.40以上であること

①外壁等剥落(判定式の検討)

(6)劣化グレード3の判定式と劣化グレード2又は3の判定式の統合

劣化グレード2又は3の判定式について考えると、例えば調査箇所数が15の場合に、劣化グレード2のみであっても7箇所以上で観測されれば、判定式を満たすことになる。一方で、劣化グレード3の判定式については、劣化グレード3が5箇所以上で観測されれば、判定式を満たすことになる。つまり、劣化グレード2の7箇所と劣化グレード3の5箇所が、判定式において同じ影響度であると考えられるため、劣化グレード2は劣化グレード3の5/7しか判定に影響を与えないものとして、調査箇所数が15の場合には判定式を以下のように統合できる。

$$(\text{劣化グレード3の観測数} + \text{劣化グレード2の観測数} \times 0.71) \div \text{調査箇所数} \geq 0.34$$

以上のことから、以下の統合判定式が得られる。

【劣化グレード2と3に関する統合判定式】

調査箇所数が8以上14以下の場合：

$$(\text{劣化グレード3の観測数} + \text{劣化グレード2の観測数} \times 0.80) \div \text{調査箇所数} \geq 0.50$$

調査箇所数が15以上29以下の場合：

$$(\text{劣化グレード3の観測数} + \text{劣化グレード2の観測数} \times 0.71) \div \text{調査箇所数} \geq 0.34$$

調査箇所数が30以上の場合：

$$(\text{劣化グレード3の観測数} + \text{劣化グレード2の観測数} \times 0.67) \div \text{調査箇所数} \geq 0.27$$