

技術資料 1 劣化原因を推定する

1 鉄筋コンクリート造建築物の劣化原因推定表

この推定表の考え方

専門技術者は、調査結果から劣化原因を判断する場合、必ずしも何かの資料を参考にしているわけではなく、現場の状況やこれまでの経験等を総合的に判断しています。これは、多くの実務により培われた「勘」と「経験」に基づく判断で、その判断過程を体系化することは困難です。そこで、少しでもこの判断に近い原因推定ができるよう、これまでの専門技術者による多くの調査診断結果を統計的に処理し、調査シートに記載の劣化状況と考えられるその原因の因果関係を一覧化した「推定表」を作りました。これにより、劣化状況と劣化原因の因果関係の強さを知ることができます。この統計手法は、今後事例を増やすことでますます確度が高くなります。

使い方

建物を現地調査し、ある劣化状況が観察された場合に、「推定表」に照らし合わせ、劣化原因ごとの因果関係の強さを見比べながら、主要な劣化原因を絞り込むことができます。

ただし、「推定表」に示す「該当した劣化症状」および「該当した劣化原因」のデータ数が少ない場合（10件以下）、原因推定の信頼性が乏しくなるため、参考程度に扱う必要があると考えられます。

躯体・外壁・屋根における劣化症状と劣化原因との因果関係推定表 (データ総数:2130 (躯体・外壁:1604、屋根:526))

事後確率		原因推定(上段:劣化原因 / 下段:劣化原因の数)																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
		コンクリートの乾燥収縮による劣化	モルタルの乾燥による劣化	低品質な材料の使用	設計時の配慮不足	かぶり不足	水勾配不足	開口補強筋の不足	下地材との付着力低下	経年劣化	熱膨張による劣化	紫外線・酸などによる劣化	風による劣化	雨による劣化	雪・氷等による破損	凍害による劣化	水の浸入による劣化	トップコートの劣化	雨掛かりによる塗装の劣化	構造・外力によるひび割れ	維持管理(清掃等)の不備	人的または物的な破損	施工不良	鋼製付属物からの錆汚れ	鉄筋の腐食	結露水				
		該当した劣化原因のデータ数	該当した劣化症状のデータ数																											
		194	55	3	7	44	8	7	37	941	44	58	3	181	48	127	144	57	43	16	20	50	25	47	82	49				
躯体の劣化	a1	さび汗を伴うひび割れ・はく離	66	77%				39%																						
	a2	はく離・スケール・欠損(発錆・鉄筋露出)	26	1%				96%																		18%	95%	1%		
	a3	鉄筋に沿うひび割れ・はく離	21					100%																			27%	100%		
	a4	白華を伴うひび割れ・はく離	33	96%				59%																			3%	49%		
	a5	ひび割れ	118	91%				0%																		1%	9%	0%		
	a6	はく離・スケール・欠損(発錆・鉄筋露出がない)	45	45%																										
	a7	豆板(ジャンカ)																												
	a8	ポツアウト	1	100%																										
	a0	その他(漏水等)	14					65%																						
	躯体・外壁	b1	ひび割れ(躯体に至る)	88	14%	92%																								
b2		はく離・はく離(下地の露出)	62	44%	13%	37%																								
b3		浮き	35	25%	66%																									
b4		摩耗(下地の露出)	6	24%		100%																								
b5		はく離・はく離(下地の露出)	123	27%	1%	13%																								
b6		ひび割れ	111	73%	7%																									
b7		ふくれ	64	47%	12%																									
b8		表面のみの軽微なひび割れ・剥離・摩耗	14	89%	47%																									
b9		白亜化(チョーキング)	2																											
b10		局部的汚れ(鋼製付属物からの錆汚れを含む)	7	28%																										
躯体・外壁	b0	その他(漏水等)	20					47%																						
	c1	破断・ひび割れ(貫通している)	12																											
	c2	はく離	36	1%	3%																									
	c3	被着材破断																												
	c4	充填モルタルのひび割れ・浮き・はく離	10			97%																								
	c5	ひび割れ(貫通していない)	56	1%																										
	c6	しわ・変形・変質等	6																											
	c7	汚れの付着・周囲の汚れ・表面塗膜はく離	12	6%																										
	c8	開口部材の劣化	8	47%																										
	c9	水切部材の劣化	52			1%																								
c0	手摺部材の劣化	15																												
躯体・外壁	b10	共通:シーリング材の劣化	2																											
	c0	劣化その他																												
	屋根	a1	破断・損傷・剥離	37		6%								4%																
		a2	ひび割れ	24		14%																								
		a3	ふくれ・浮き	70		7%																								
		a4	ずれ落ち(立ち上がり部)																											
		a5	砂落ち(アスファルト防水)	1																										
		a6	表面塗装の減耗(塗膜防水以外)	132	1%																									
		a0	その他	15																										
		b1	ひび割れ	34	79%	7%																								
b2		はく離・剥離・スケール・欠損	22	50%	16%																									
屋根		b3	飛散(押さえ砂利層)	3																										
	b4	白華	4	100%																										
	b5	目地材の押出し・ひび割れ・その他の損傷	10																											
	b6	パラベットの押出し	2	86%	18%																									
	b0	その他(漏水等)	21																											
	s1	盗木・防水押さえ金物の穴あき・破損・脱落	2																											
	s2	シーリング材の破断・はく離・貫通ひび割れ	29																											
	s3	シーリング材のその他の損傷	7																											
	s4	押さえ金物等のゆるみ	3																											
	s5	押さえ金物等の発錆	7																											
屋根	s6	ドレン金物の損傷・著しい発錆	6																											
	s7	ドレン周りの排水不良	8																											
	s8	植物の繁茂	21																											
	s9	断熱層の露出・浮き・損傷	4																											
	s0	その他(漏水等)	9																											
	c1	屋根材の脱落	1																											
	c2	錆・腐食・穴あき	40																											
	c3	亜鉛鋼板の発錆	1																											
	c4	塗膜のふくれ・はがれ・摩耗	25																											
	c5	塗膜の光沢低下・変色・白亜化	4																											
c0	その他(漏水等)	16																												

凡例 一覧表は、ある劣化症状が観察された場合に、想定される劣化原因との因果関係Xを表している
 X < 25% : 僅かに因果関係が見られる 25% X < 50% : やや因果関係がある 50% X < 75% : 因果関係を有している 75% X : 強い因果関係を有している

2 鉄筋コンクリート造建築物の 躯体劣化パターン図

この資料の考え方

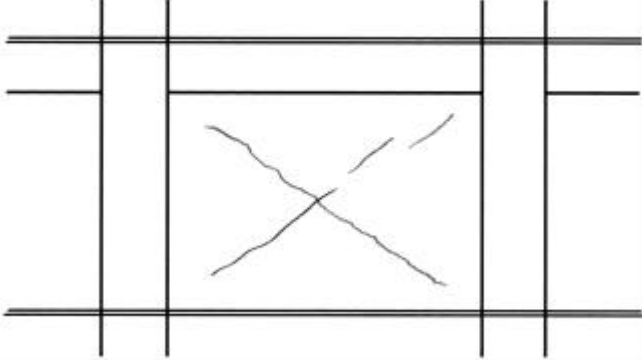
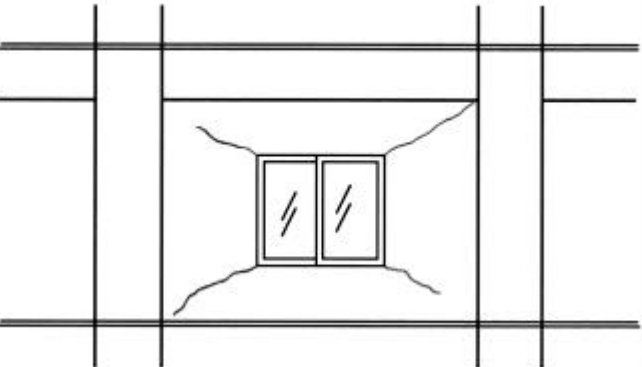
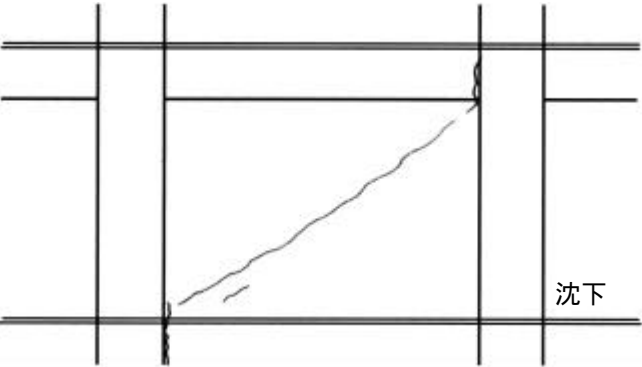
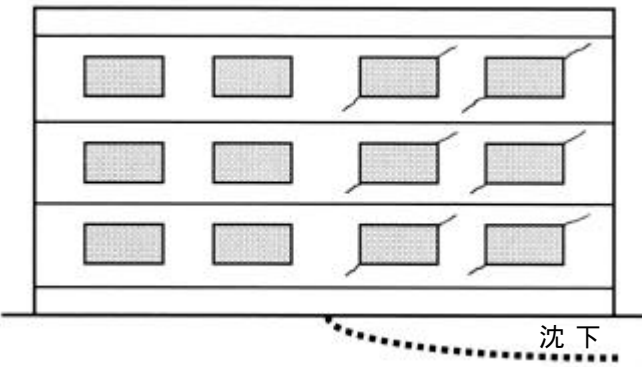
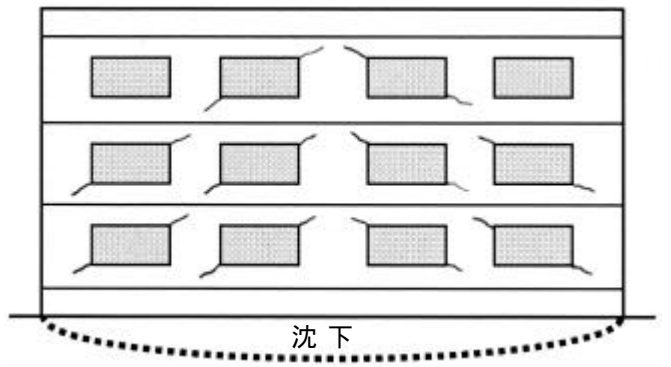
鉄筋コンクリート造建物の構造体には、様々な原因でひび割れが発生します。

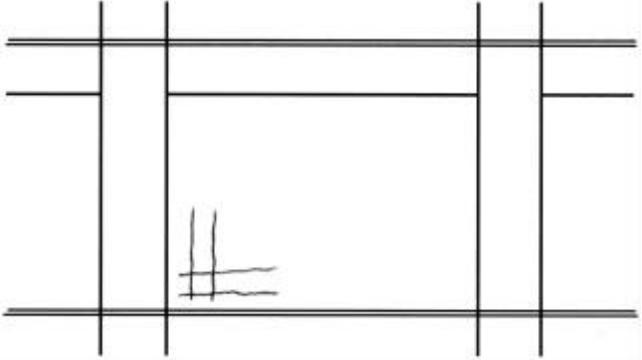
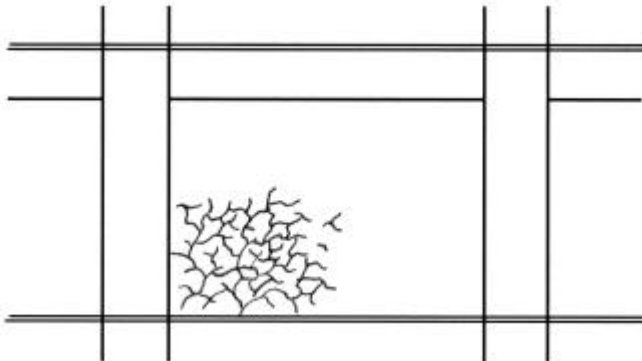
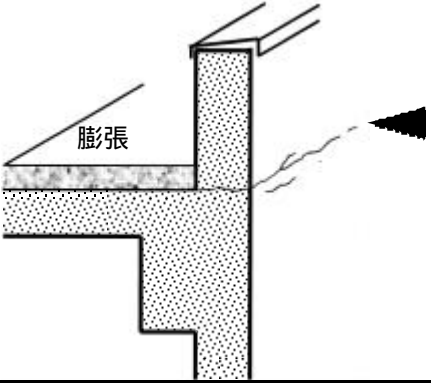
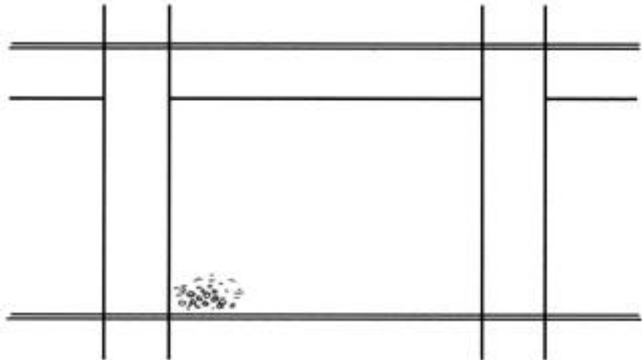
ひび割れを中心とする劣化パターン図を「注意を要するひび割れ等（D分類）」と「よく見られる原因のひび割れ等（N分類）」に分けて載せました。

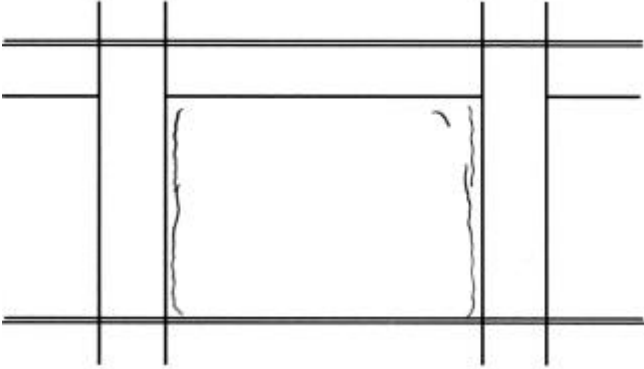
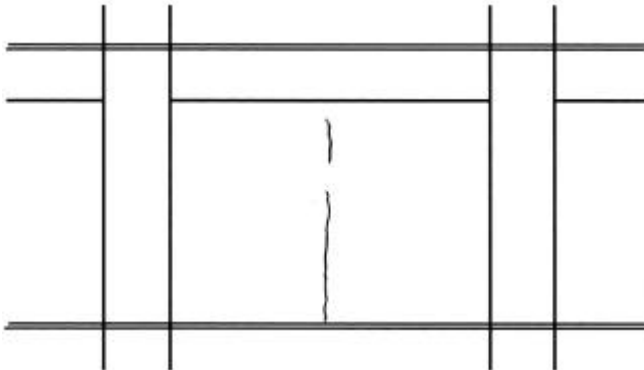
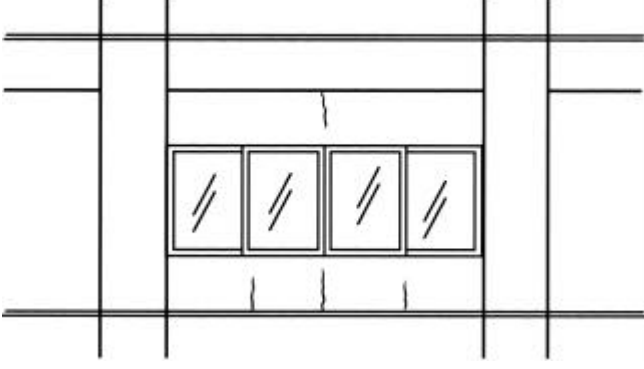
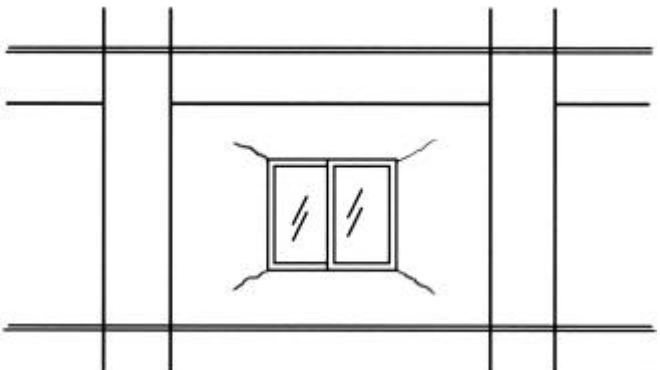
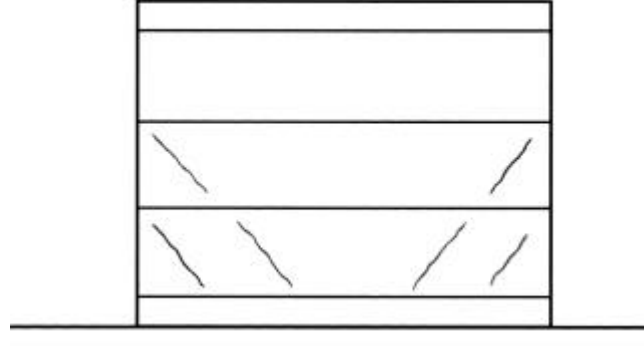
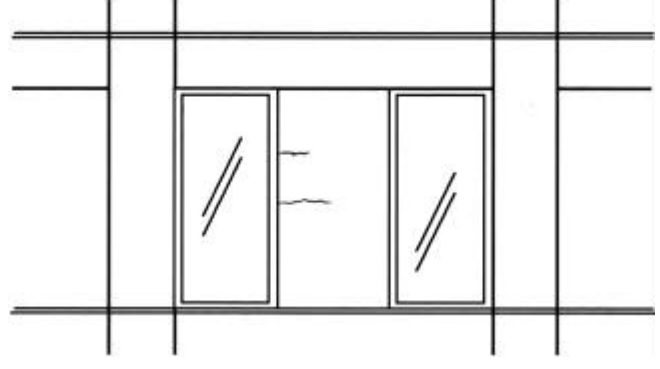
使い方

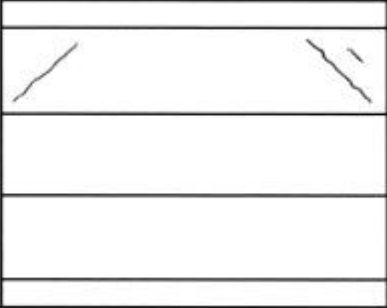
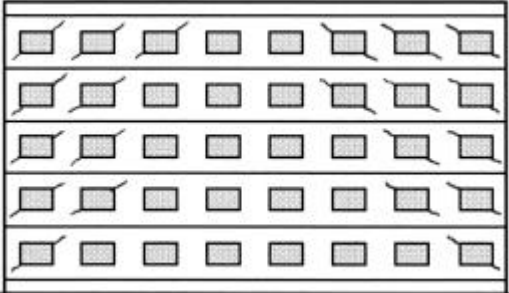
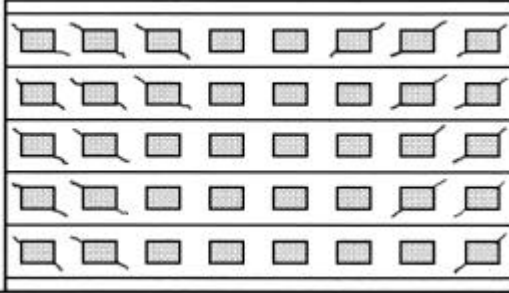
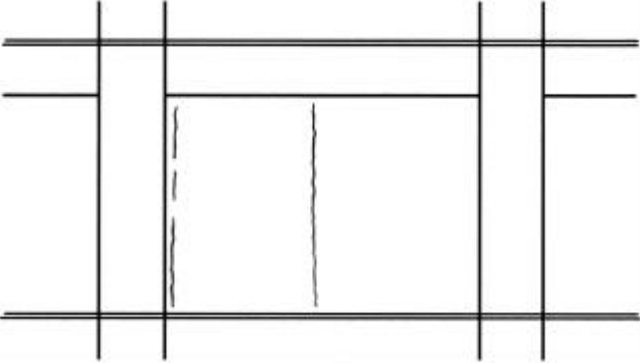
「注意を要するひび割れ等（D分類）」は、原因が突発的で構造上、耐久性上重大な問題が考えられるか注意を要すると考えられるもので、専門技術者の診断が必要な劣化状況です。

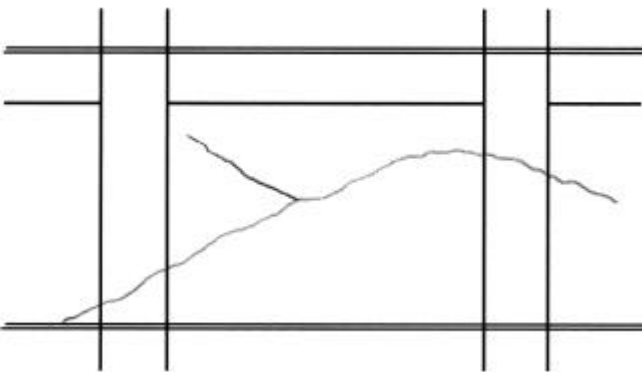
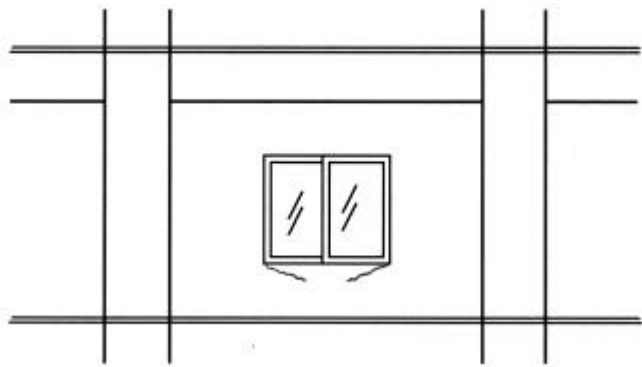
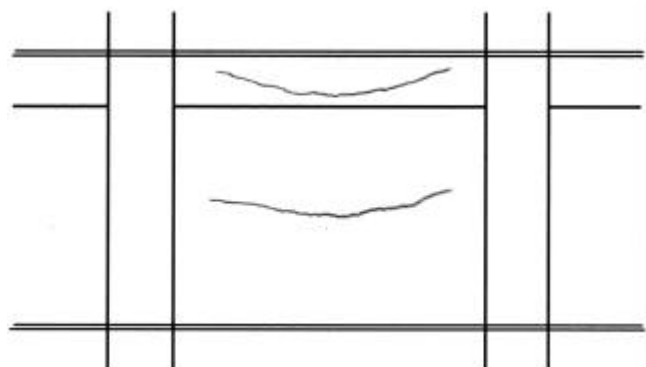
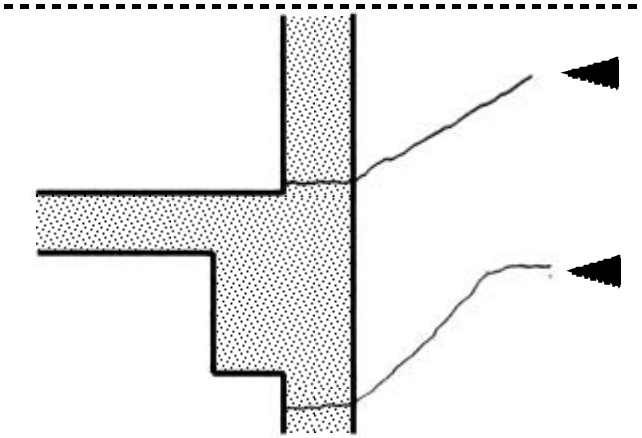
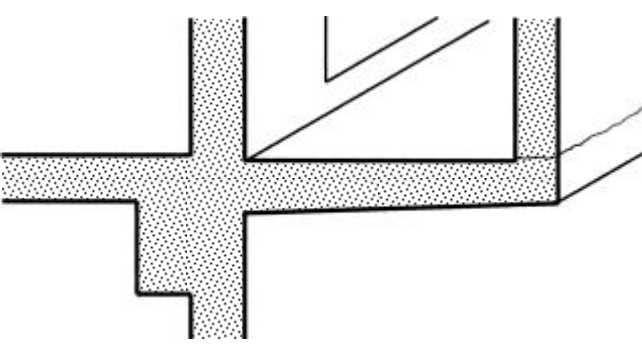

「よく見られる原因のひび割れ等（N分類）」は、材料・施工上、あるいは通常の使用条件で起こりうるひび割れ等で、構造的に直ちに障害を招くものではありませんが、ひび割れ幅によっては防水上の問題が考えられるため、修繕が必要です。

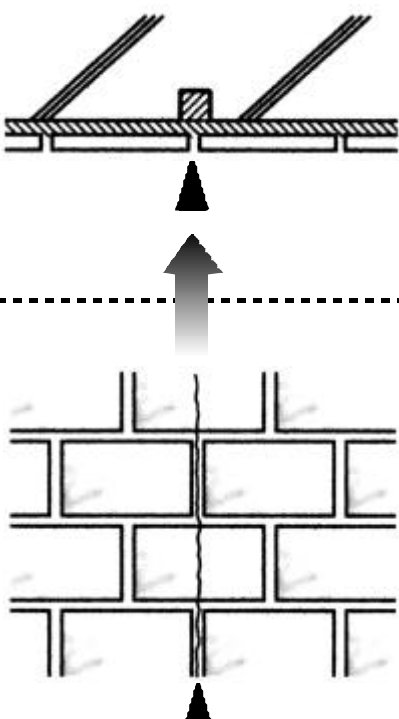
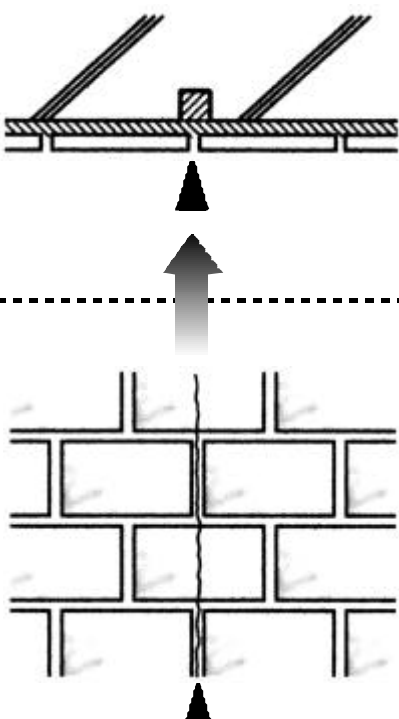
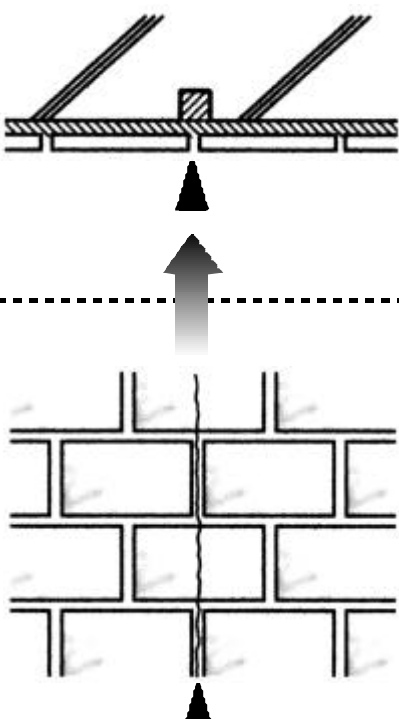
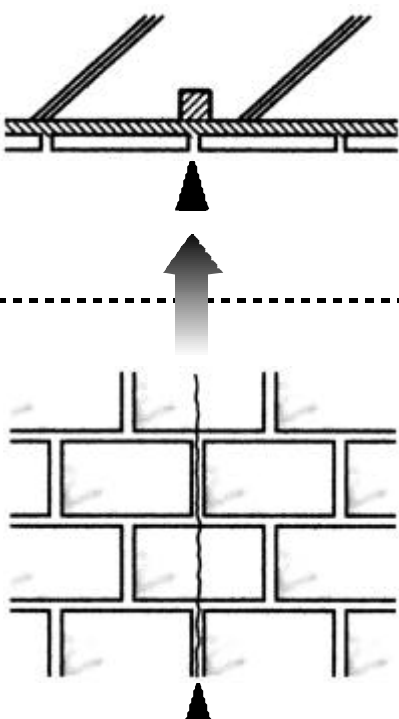
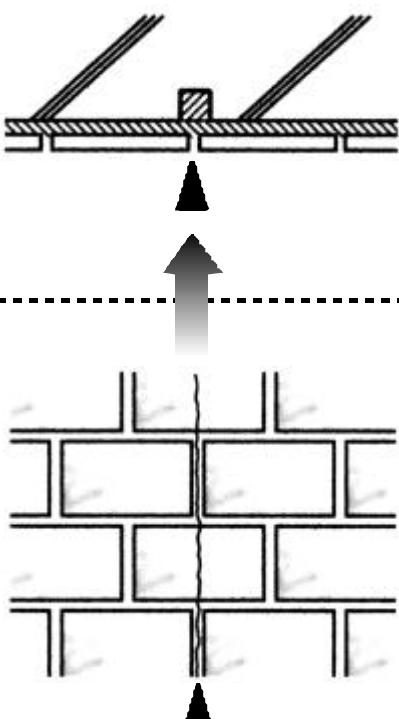
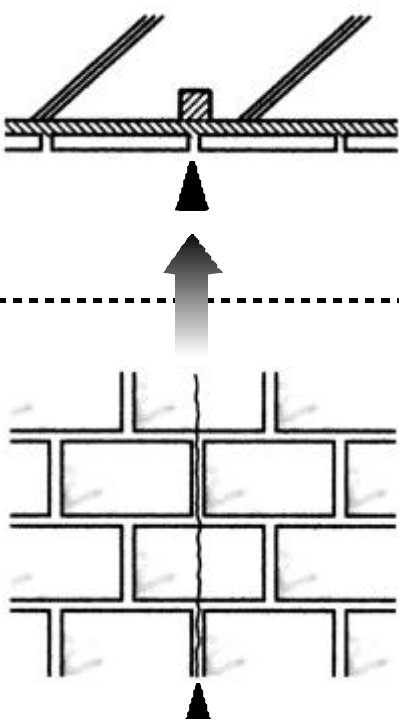
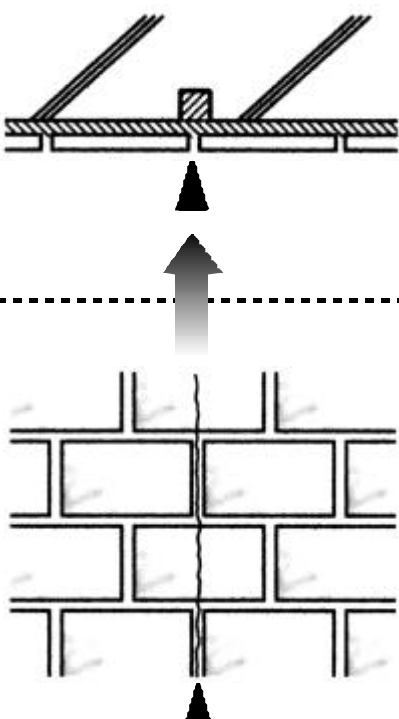
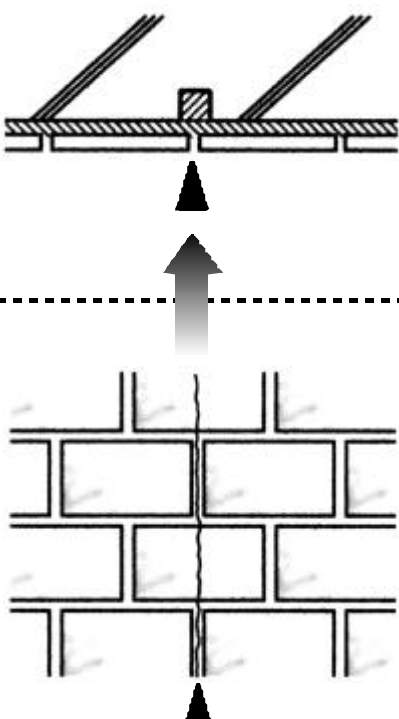
<h1>壁</h1>	D 注意を要するひび割れ等			1
	w 3	W	部位記号	W
<p>WD 1 地震（大きな外力）</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計以上の大きなせん断力による斜めの構造亀裂で、ひび割れ幅は大きい（数mm） ・開口部からも発生しやすく、開口部間に発生する場合もある ・地震後は、速やかに建物の点検をする 			
				
<p>WD 2 不同沈下</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計以上の大きなせん断力による斜めの構造亀裂で、ひび割れ両端の柱・梁接合部にも大きなひび割れが発生する可能性がある ・建物全体で見ると、次のような形状になる 端部沈下の場合：逆八の字 中央部沈下の場合：八の字 ・疑いがある場合は、建物のレベル調査、地盤調査が必要 			
				

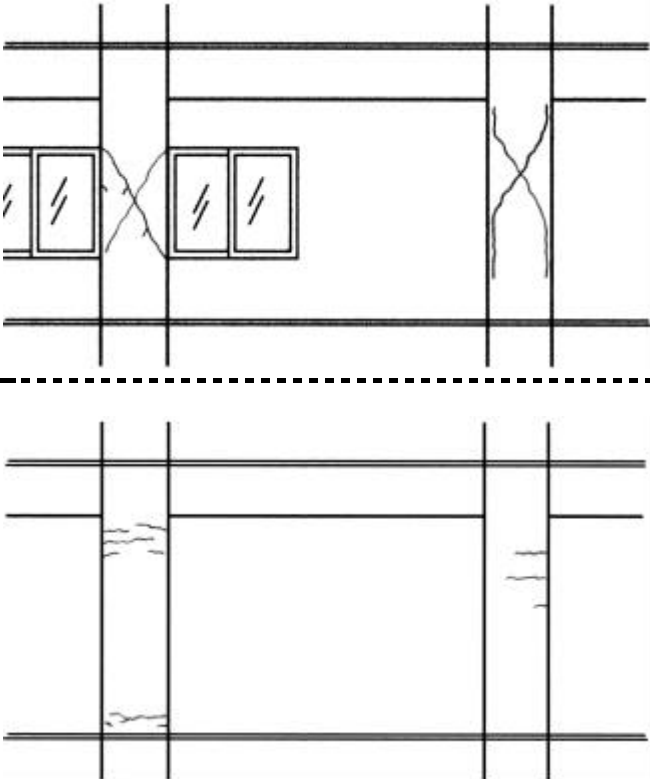
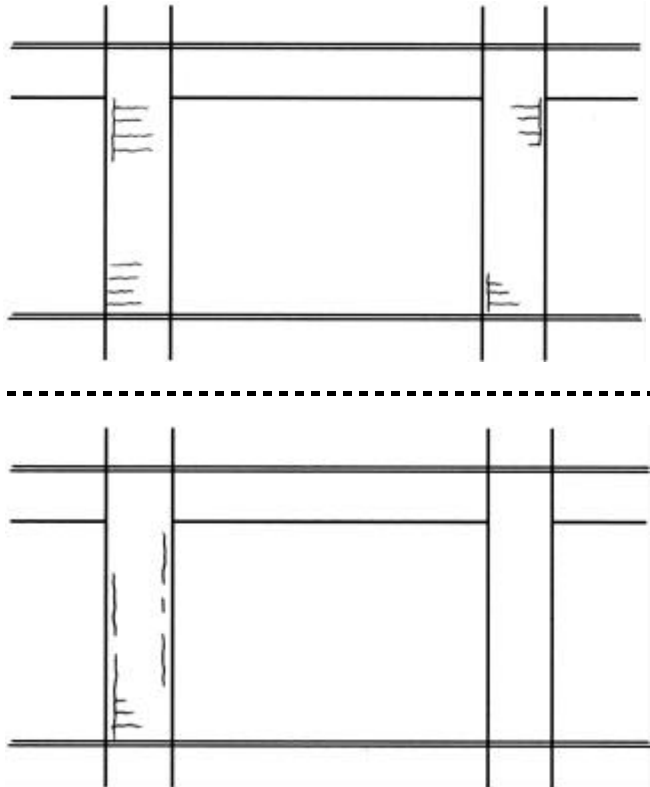
壁	D 注意を要するひび割れ等			2
	W 3	W	部位記号	W
WD 3 鉄筋発錆 	<ul style="list-style-type: none"> ・配筋時やコンクリート打設時の鉄筋のずれによりかぶり厚不足になった部分、コンクリート中の塩化物量が多い場合に発生する 			
WD 4 アルカリ骨材反応 	<ul style="list-style-type: none"> ・柱や梁部分と違い、方向性のない亀甲状のひび割れが発生する 			
WD 5 防水保護層の押し出し 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート製防水保護層の熱膨張により、パラペットが押し出される場合がある ・外壁面には、横に直線上にひび割れ、はく離・はく落を伴う場合がある ・保護層に伸縮目地がとられていない場合は注意を要する 			
WD 6 コンクリートの打設不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ジャンカ（砂利とセメントペーストが分離して砂利が露出した部分）は、構造的に直ちに影響するものではないが、鉄筋の保護効果が低下した部分であり、修繕を要する 			

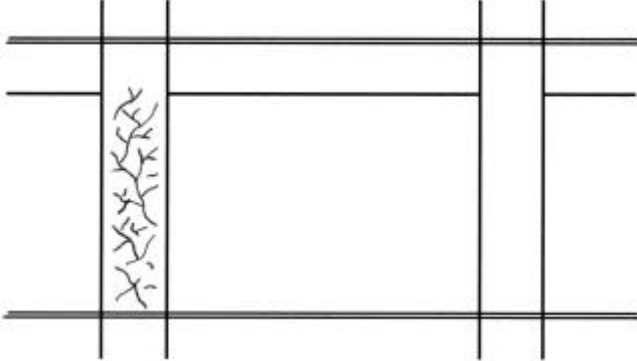
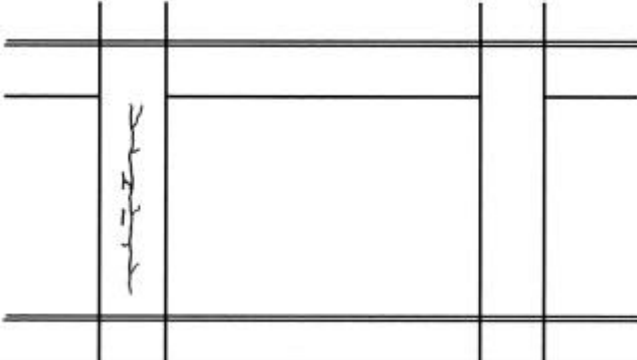
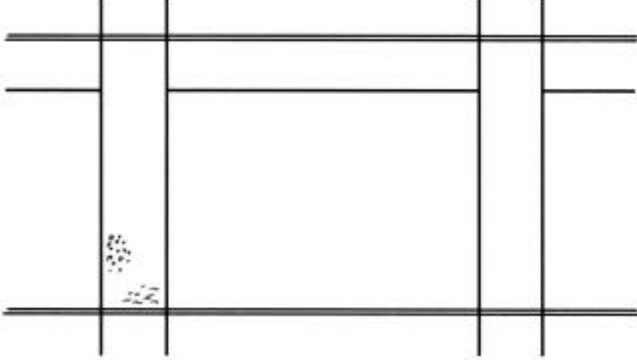
壁		N よく見られる原因のひび割れ等		3
		w 3	W	部位記号
WN 1 乾燥収縮		<ul style="list-style-type: none"> ・ 次のような形状になる 無開口壁：中央または柱付近で縦ひび割れ（90～50°の角度で発生） 独立開口部：隅各部から斜めひび割れ 腰壁、垂れ壁：分散して縦ひび割れ（集中する場合もある） ・ 10m当たりひび割れ幅の合計2～3mmの乾燥収縮ひび割れは通常起こりうる 		
				
				
				
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物全体では、基礎が固定され上部構造が収縮し、逆八の字になる 		

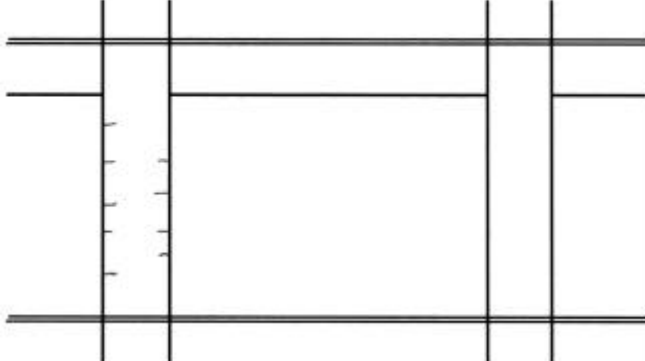
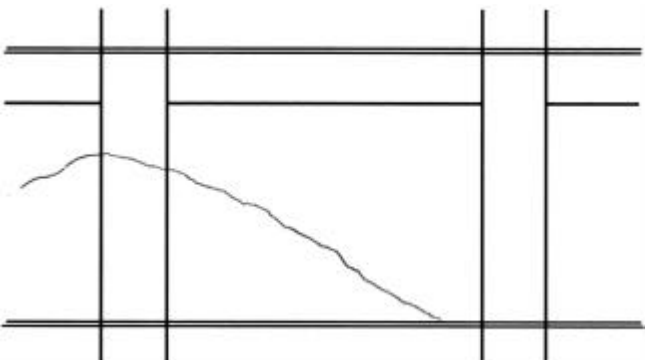
壁		N よく見られる原因のひび割れ等		4
		w 3	W	部位記号
WN 2 熱膨張・収縮 <p style="text-align: center;">膨 張</p> 		<ul style="list-style-type: none"> ・屋上スラブの熱膨張収縮により、次の形状で発生する（45°前後の角度で発生） 熱膨張や高湿：八の字 低温収縮や乾燥：逆八の字 ・混在する場合もある ・天候や季節によってひび割れ幅が変動する 		
<p style="text-align: center;">膨 張</p> 		<p style="text-align: center;">収 縮</p> 		
WN 3 内外温度差 		<ul style="list-style-type: none"> ・片側が高温（または高湿）、反対側が低温（または乾燥）環境の場合に、低温（乾燥）側の中央部や柱付近に発生する ・乾燥収縮と似ている 		

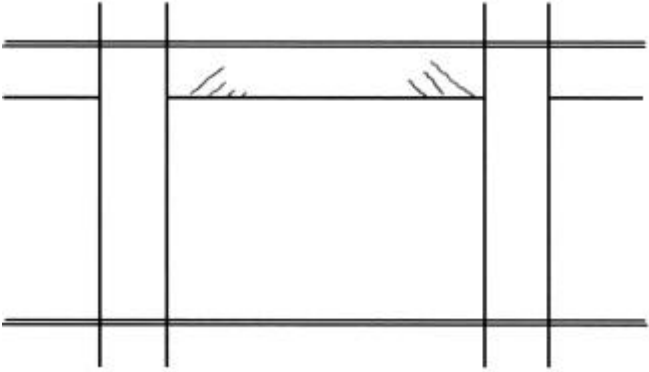
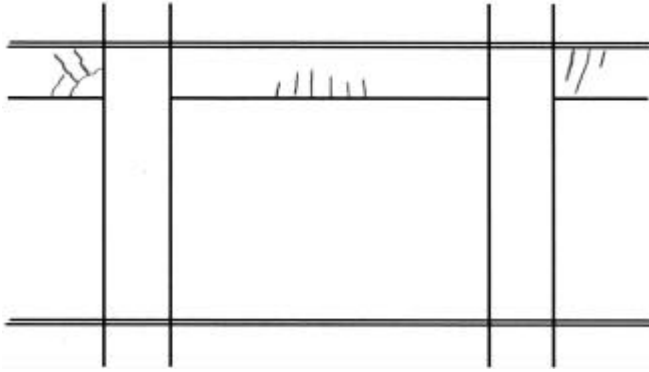
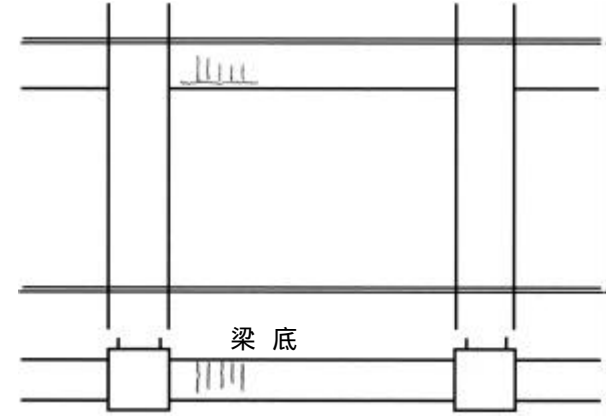
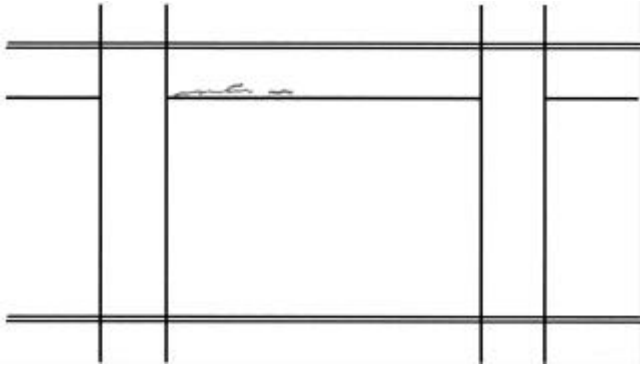
壁	N よく見られる原因のひび割れ等		5
	W 3	W	部位記号 W
WN 4 コンクリートの打設不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの打設時間間隔があいた場合、次のような形状になる <ul style="list-style-type: none"> 壁：山型または斜めひび割れが多い（柱や梁に連続する場合がある） 開口部下：隅各部から開口部下に斜めひび割れ ・急激な打設によるコンクリートの沈降で、壁や梁に横方向のひび割れが発生する 		
			
	<ul style="list-style-type: none"> ・打継ぎ部では、次の形状で発生する 梁下：山型（のこぎり型）または横に直線状のひび割れ 梁上：横に直線状のひび割れ ベランダ：スラブと手摺壁境界部に横に直線状のひび割れ 		
			

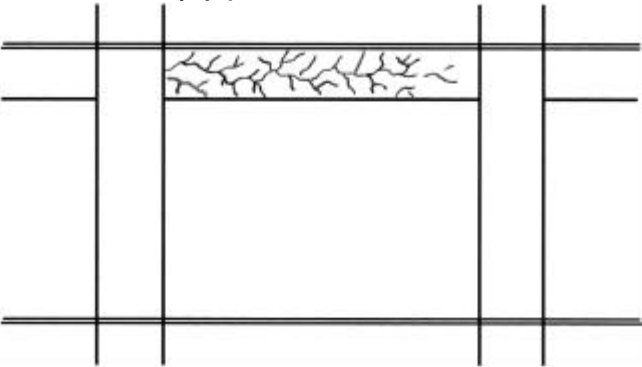
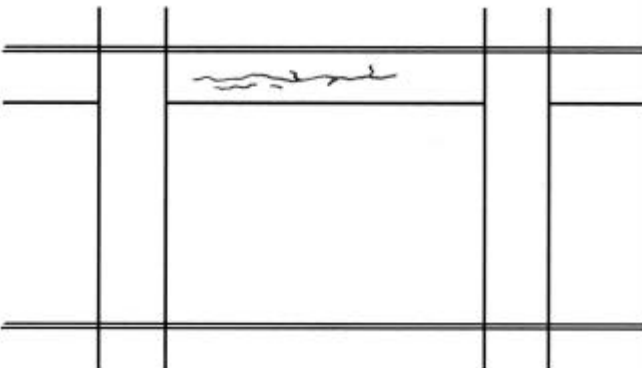
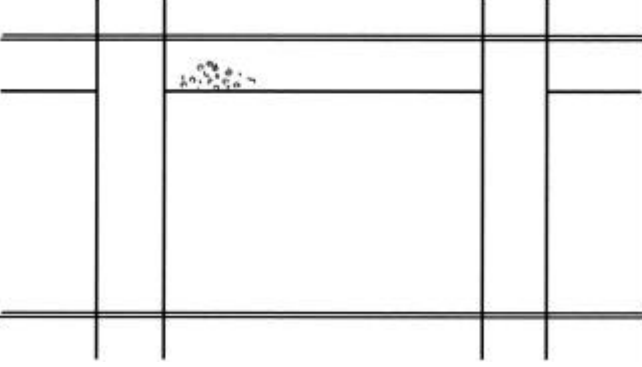
壁	N よく見られる原因のひび割れ等			6
	w 3	W	部位記号	W
WN5 コンクリート内部の要因	<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ誘発目地をモルタルやタイルで隠蔽した場合に発生する ・コンクリート外壁に電線管等が隠蔽されている場合も誘発目地と同様になる ・コンクリートとコンクリートブロックの境界部分に発生する 			
				
				
				
				

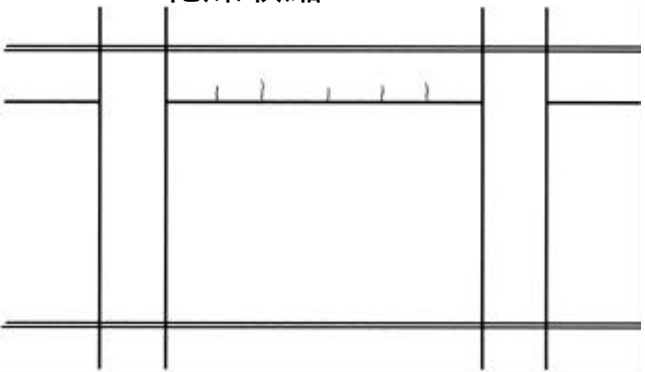
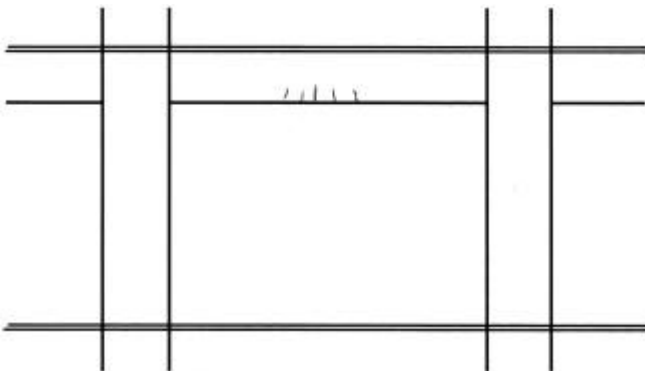
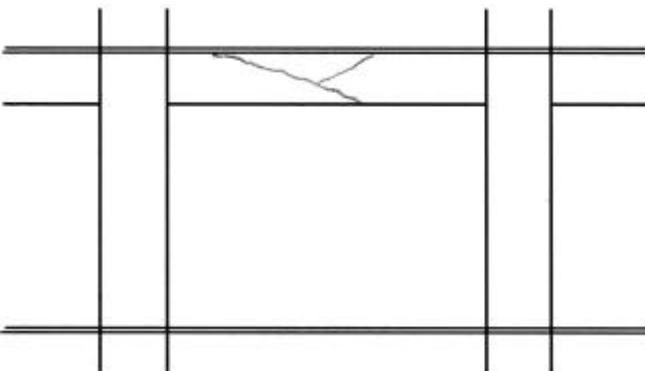
柱	D 注意を要するひび割れ等			7
	w 3	W	部位記号	C
<p>CD 1 地震（大きな外力）</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計以上の大きなせん断力により発生する斜めの構造亀裂で、ひび割れ幅は大きい（数mm） ・開口部間（連窓部）の短柱に発生しやすい ・長柱では、主筋にそったひび割れを伴う場合がある（付着割裂破壊） ・長柱では、水平に曲げひび割れが発生する ・地震後は、速やかに建物の点検をする 			
<p>CD 2 鉄筋発錆</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・帯筋や主筋位置に発生する ・配筋時やコンクリート打設時の鉄筋のずれ、偏りがかぶり厚不足になった部分、コンクリート中の塩化物量が多い場合に発生する ・鉄筋の偏りは柱頭、柱脚に多い 			

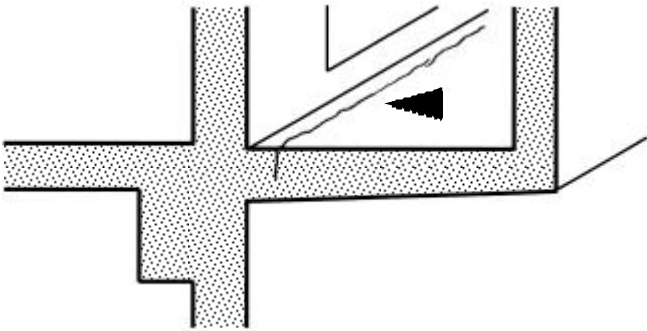
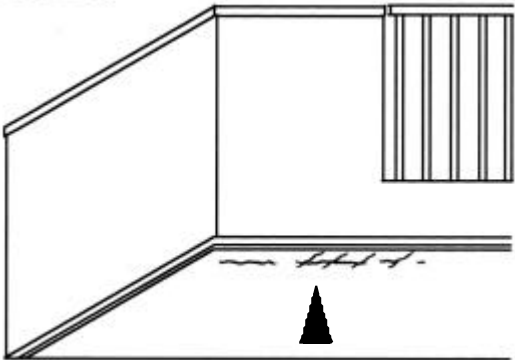
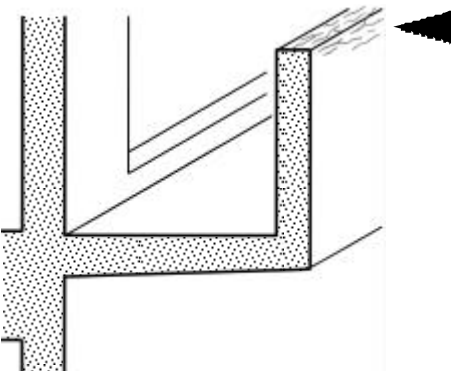
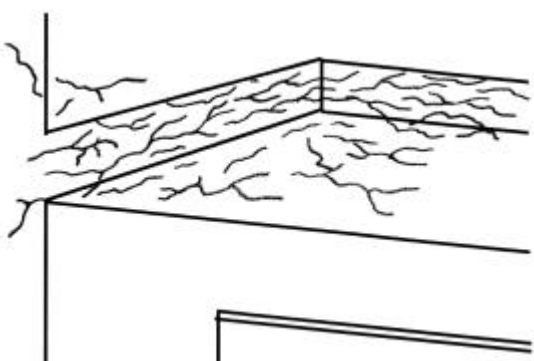
柱	D 注意を要するひび割れ等			8
	w 3	W	部位記号	C
CD 3 凍害 	<ul style="list-style-type: none"> ・方向性のない亀甲状のひび割れが発生する 			
CD 4 アルカリ骨材反応 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋位置にあまり関係なく、材軸方向に発生する 			
CD 5 コンクリートの打設不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ジャンカ（砂利とセメントペーストが分離して砂利が露出した部分） ・柱脚部分にできやすい ・表面ひび割れとなって現れる場合もある <ul style="list-style-type: none"> ・断面欠損部で鉄筋の保護効果も期待できないので、修繕を要する 			

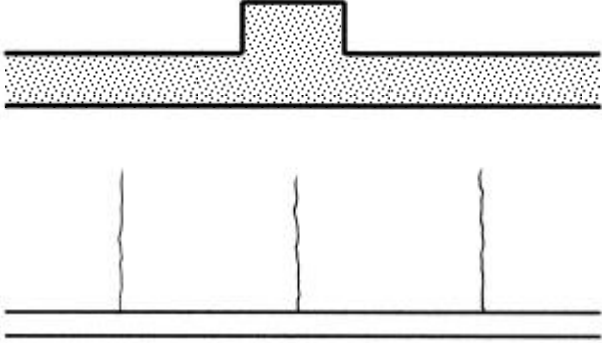
柱		N よく見られる原因のひび割れ等		9	
		w 3	W	部位記号 C	
C N 1	乾燥収縮				<ul style="list-style-type: none"> ・柱の角に横方向に発生する
C N 2	コンクリートの打設不良				<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの打設時間間隔があいた場合、壁から連続して山型または斜めひび割れが発生する

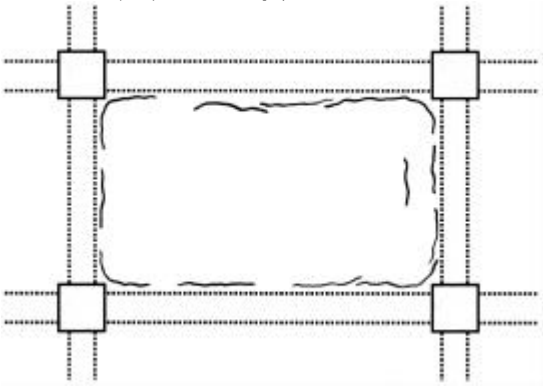
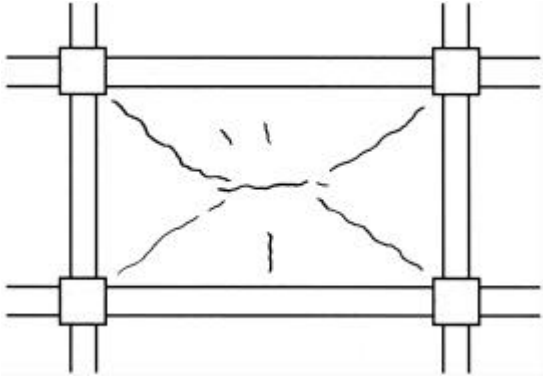
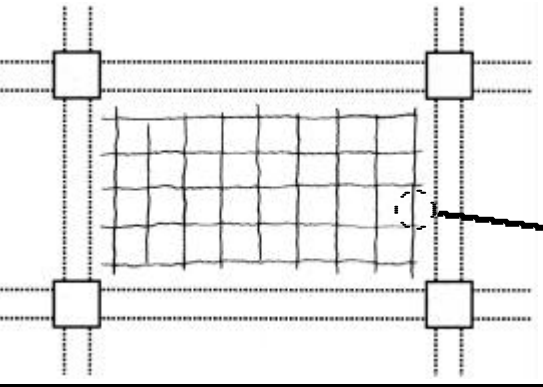

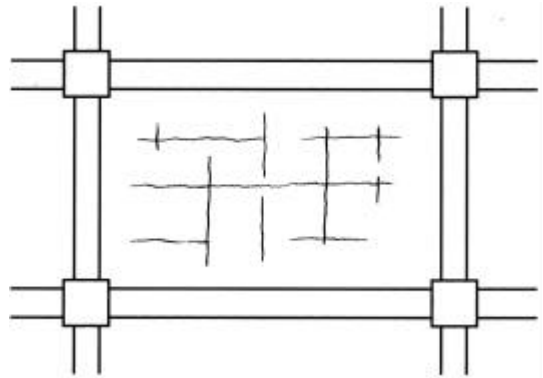
梁	D 注意を要するひび割れ等			10
	W 3	W	部位記号	G
GD 1 大きな外力 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震や不同沈下等で設計以上の大きなせん断力により梁両端に発生する八の字形の構造亀裂 ・詳細な原因調査を要する ・地震後は速やかに建物の点検をする 			
GD 2 大きな外力 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震や不同沈下、過過重等で設計以上の大きな曲げモーメントにより梁中央部下端や両端部上下端に入る構造亀裂 ・0.2mmを超える曲げひび割れは異常 ・詳細な原因調査を要する ・地震後は速やかに建物の点検をする 			
GD 3 鉄筋発錆 	<ul style="list-style-type: none"> ・あばら筋や主筋位置に発生する ・配筋時やコンクリート打設時の鉄筋のずれ、偏りがかぶり厚不足になった部分、コンクリート中の塩化物量が多い場合に発生する 			
				

梁	D 注意を要するひび割れ等			11
	w 3	W	部位記号	G
GD 4 凍害 	<ul style="list-style-type: none"> ・方向性のない亀甲状のひび割れが発生する 			
GD 5 アルカリ骨材反応 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋位置にあまり関係なく、材軸方向に発生する 			
GD 6 コンクリートの打設不良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ジャンカ（砂利とセメントペーストが分離して砂利が露出した部分） ・表面ひび割れとなって現れる場合もある ・断面欠損部で鉄筋の保護効果も期待できないので、修繕を要する 			

梁		N よく見られる原因のひび割れ等		12	
		w 3	W	部位記号 G	
GN 1	乾燥収縮		<ul style="list-style-type: none"> ・梁の下端に材軸と直交して発生する ・ほぼ等間隔に発生し、床スラブに達する場合もある 		
GN 2	通常の荷重によるひび割れ		<ul style="list-style-type: none"> ・梁中央部下端に生ずる0.2mm未満のひび割れは通常の荷重による曲げひび割れで、許容される 		
GN 3	コンクリートの打設不良		<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの打設時間間隔があいた場合、山型または斜めひび割れが発生する ・壁から連続している場合もある 		

ベランダ・庇		D 注意を要するひび割れ等		13
		w 3	T	部位記号
T D 1 曲げひび割れ 		<ul style="list-style-type: none"> ・曲げモーメントにより根本部に壁に沿って発生する ・根本部の上端筋が下がり、曲げモーメントに抵抗できない状態が考えられる ・支保工が下がり、施工初期に発生することもある ・詳細な原因調査を要する 		
T D 2 鉄筋発錆 		<ul style="list-style-type: none"> ・下面の水切り部付近でかぶり厚不足になり発錆する ・その他の部位でも、鉄筋のずれ、偏りがかぶり厚不足になった部分、コンクリート中の塩化物量が多い場合に発生する 		
T D 3 凍害 		<ul style="list-style-type: none"> ・手摺壁天端や端部立ち上がり部で長手方向に直線状のひび割れが発生する（この場合、部位記号はV） 		
E D 3 凍害 		<p><庇>（この場合、w 3はE）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・雨水や融雪水の溜まりやすい部分、積雪のある部分で起きやすい 		

ベランダ・庇	N よく見られる原因のひび割れ等			14
	w 3	T	部位記号	H
<p>T N 1 乾燥収縮</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ベランダの上面または下面の短辺方向にほぼ等間隔で平行に発生する ・長い庇にも発生する 			

床		D 注意を要するひび割れ等		15
		w 3	-	部位記号
<p>F D 1 大きな外力</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過過重や配筋不良によりスラブが落ちる（大たわみによる曲げひび割れ） ・ 詳細な原因調査を要する 			
				
<p>F D 2 打設不良</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ スラブ上面の上端筋に沿ったひび割れ ・ コンクリート打設後 1 ~ 2 時間後に発生する沈み込みにより、上端鉄筋位置に発生する（沈みひび割れ） 			
<p>F D 3 鉄筋発錆</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ スラブ下面の下端筋に沿ったひび割れ ・ 配筋時やコンクリート打設時の鉄筋のずれ、偏りがかぶり厚不足になった部分、コンクリート中の塩化物量が多い場合に発生する 			

床

N よく見られる原因のひび割れ等 16

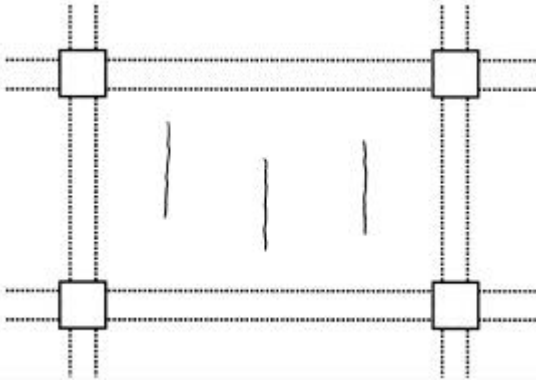
w 3

-

部位記号

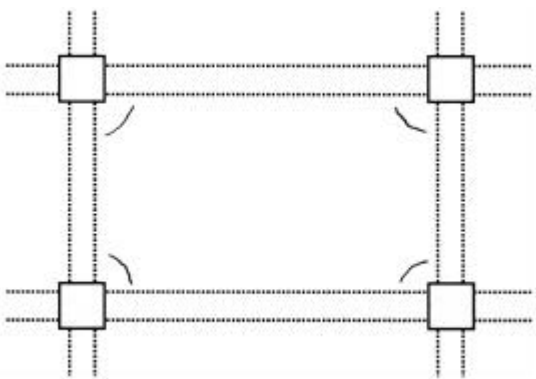
-

F N 1 乾燥収縮

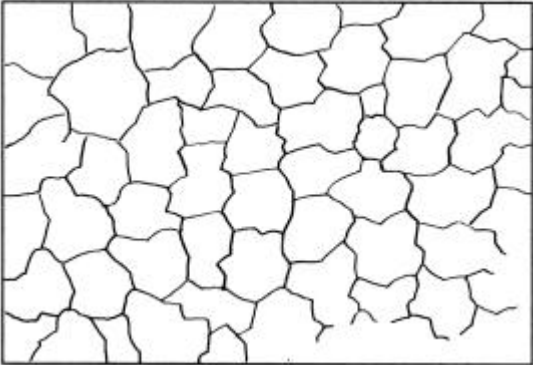
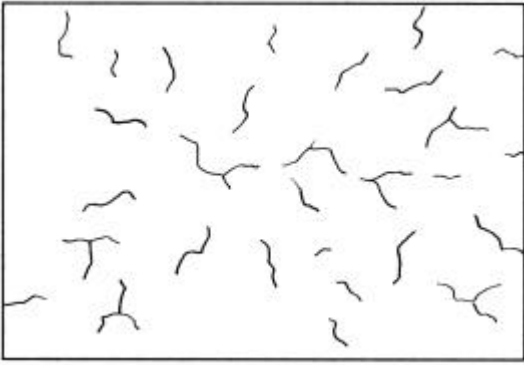
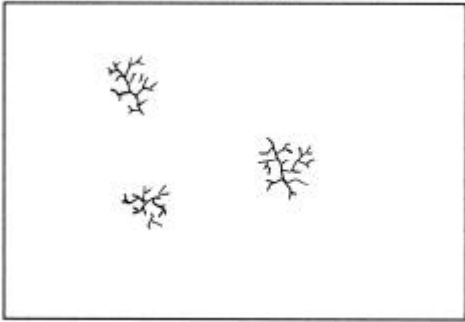
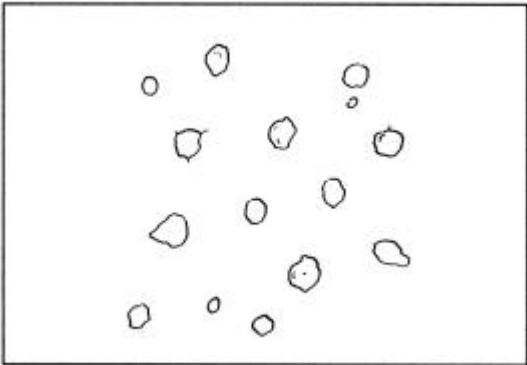


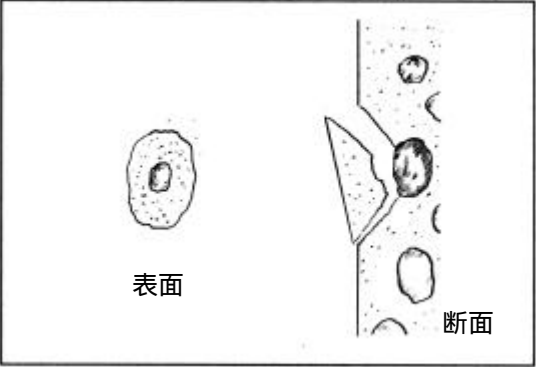
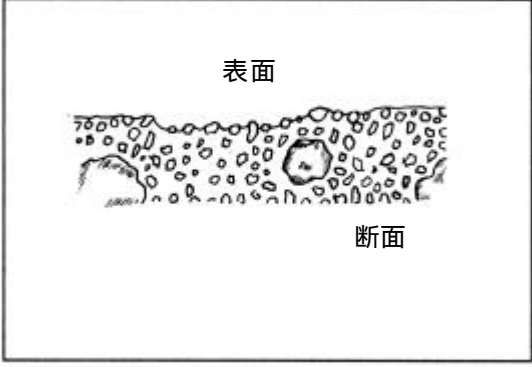
・短辺方向に平行に入る

F N 1 乾燥収縮



・床のコーナー部（柱付近）に斜めに入る

コンクリート表面		D 注意を要するひび割れ等		17
		w 3	-	部位記号 -
01 亀甲状のひび割れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 泥分を含む骨材の使用 ・ 運搬時間が長すぎた ・ 凝結遅延剤が入ったコンクリートのドライアウト 			
02 細かい不規則なひび割れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ セメントの異常凝結 			
03 部分的に発生する細かいひび割れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 分散が不均一になった混和材の膨張または収縮により、部分的に細かいひび割れが発生する 			
04 鱗片状のはく離 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 凍害 ・ 反応性骨材の使用 			

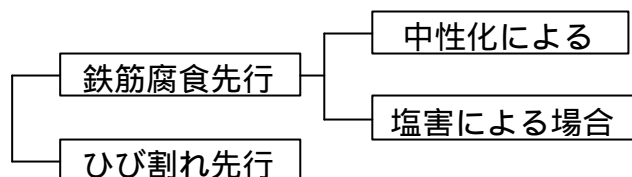
<h1>コンクリート表面</h1> <th colspan="2" data-bbox="823 170 1426 237">D 注意を要するひび割れ等</th> <th data-bbox="1426 170 1501 237">18</th>		D 注意を要するひび割れ等		18
		w 3	-	部位記号
<p>O5 ポップアウト</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・吸水性の大きい砂利（死石）の凍害 ・中に死石が見える 			
<p>O6 スケーリング</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・凍害 			

技術資料 2 修繕改修方法を考える

1. 一般的修繕改修方法

劣化原因を考える必要性

日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および修繕指針（案）・同解説」では、鉄筋腐食に関わる劣化現象は下の図に示すように、中性化（鉄筋腐食先行型）、塩害（鉄筋腐食先行型）、ひび割れ先行型の3つに分類しています。



鉄筋腐食に関わる劣化形態

また、ひび割れ先行型の場合、その原因によっては、鉄筋腐食への影響とは区別して考える必要があるとしています。その具体例としては、アルカリ骨材反応および化学的腐食、地震や不同沈下などの構造的要因によるものを挙げています。

修繕工事では、劣化が顕在化している部分を元の状態に戻すだけで、劣化の原因を取り除かなければ、いずれ再発する可能性があります。したがって、劣化の原因を取り除く工法あるいは劣化を抑制する工法を選ぶことが重要であり、そのためには劣化の原因を知っておく必要があります。

工法・材料選定時に必要な情報

北海道内の施工会社および診断会社を対象にアンケートおよび聞き取り調査を行った結果、修繕工法選定の際には、コストや使用実績が重要視されています。また、修繕工法・材料の耐久性、特に寒冷地での耐久性に関する情報不足が指摘されています。

このような視点から、専門技術者の経験や過去の実績、材料メーカーのカタログなどに基づいた修繕工法・材料に関するデータベースを作成することが必要と考えています。今後、このような情報を持つデータベースを修繕工事に関わる技術者に提示していただき、データベースの充実を計ることにより、専門技術者の判断に近い手法を知ることができます。

現在、一般的に用いられている修繕工法と材料の組み合わせを、躯体、仕上げおよびシーリングに分けてデータベースの形にまとめたものを示します。

以下では、既存の指針類を参考に鉄筋コンクリート躯体について、劣化症状に対応した修繕工法と選定時の基本的な考え方について示しています。また、ここで参考になっている文献は最後にまとめて示してあります。

(1)鉄筋発錆が考えられる場合

(a)中性化の場合

中性化が鉄筋位置まで進行し、鉄筋が腐食している場合には、鉄筋の腐食を抑制する対策を講じる必要があり、劣化部分を除去した後、埋め戻し工法を用いるのが一般的です。

埋め戻し工法				
工法の概要	防錆処置	断面修復	下地調整	仕上げ材
修繕材料	ポリマーセメント系合成樹脂系塗材 錆転換塗料	ポリマーセメントモルタルの充填 エポキシ樹脂モルタルの充填	ポリマーセメントモルタルの薄塗付	浸透性吸水防止剤塗料 仕上塗材 塗膜防水材

(b)塩害の場合

塩害が発生した構造物は、コンクリート内部に塩化物イオンを含んでいるために、修繕を行う場合は、基本的に、塩化物イオンを含んだコンクリートを取り除く必要があります。その後、塩化物イオンが浸入しにくい材料により断面修復および表面被覆を行うのが一般的です。

埋め戻し工法				
工法の概要	防錆処置	断面修復	下地調整	仕上げ材
修繕材料	ポリマーセメント系合成樹脂系塗材 錆転換塗料	ポリマーセメントモルタルの充填 エポキシ樹脂モルタルの充填	ポリマーセメントモルタルの薄塗付	浸透性吸水防止剤塗料 仕上塗材 塗膜防水材

(2)白華を伴うひび割れ

白華（エフロレッセンス）は、セメント中の水酸化カルシウムなどが水に溶けて表面にしみ出し、空気中の炭酸ガスと化合してできたものが主成分です。したがって、白華が見られる上部にはほとんどの場合ひび割れの発生が見られます。この場合は、ひび割れを修繕して水の浸入を防ぐことが必要です。用いられる修繕工法は(3)に示すものと同じです。

(3)その他のひび割れ

コンクリートにひび割れが発生すると、そこから劣化因子が浸透しやすくなり早期劣化の原因となります。コンクリートのひび割れ発生の原因は、乾燥収縮による場合が多く、表面被覆工法、注入工法、Uカットシール充填工法、充填工法を用いて修繕するのが一般的です。これらの工法は以下に示すように、ひび割れの幅や状態によって使い分けられています。

(a)ひび割れの挙動がある場合

ひび割れ幅(mm)	修繕工法	修繕材料
0.2未満	シール工法	可とう性エポキシ樹脂
0.2～1.0	樹脂注入工法	軟質系エポキシ樹脂
	Uカットシール充填工法	可とう性エポキシ樹脂
1.0以上	Uカットシール充填工法	シーリング用材料

(b)ひび割れの挙動がない場合

ひび割れ幅(mm)	修繕工法	修繕材料
0.2未満	シール工法	パテ状エポキシ樹脂
0.2～1.0	樹脂注入工法	エポキシ樹脂
1.0以上	Uカットシール充填工法	可とう性エポキシ樹脂

(4)凍害によるひび割れ、はく離（スケーリング）、ポップアウト

修繕工法選定の基本的な考えとしては、凍害はコンクリートのひび割れや部分
はく離として変状が顕在化するため、躯体の性能や機能に影響しない程度の軽微
な場合にはひび割れ修繕を行い、損傷が重度の場合には部分的な断面修復や打換
えとします。また、修繕後の再発防止が重要ですので、水の浸入を防止するた
めの吸水防止処理や表面被覆が不可欠になります。以下に、劣化状況に応じた修繕
工法とその内容を示します。

劣化状況	修繕工法	工法の内容または 修繕材料
表面のみの軽微なひび割れ、 またはスケーリング	表面処理工法	防水系の被覆処理 撥水性防水剤の含浸処理
0.3mm 程度のひび割れ	樹脂注入工法	エポキシ樹脂
ポップアウト、 深さ 10mm 程度のスケーリング	埋め戻し工法	劣化部分の除去 樹脂モルタルの充填
0.3mm 以上のひび割れ、 深さ 20mm 程度までのスケーリング	埋め戻し工法	劣化部分の除去 コンクリート打直し

(5)豆板（ジャンカ）

豆板が生じた部分は、空隙部分と同様な状況にあり、炭酸ガスや水に対する抵抗性がなく、コンクリートの中酸化抑制効果をほとんど示しません。豆板部に鉄筋が存在する場合には腐食の進行が速まるため、早急に修繕を行う必要があります。

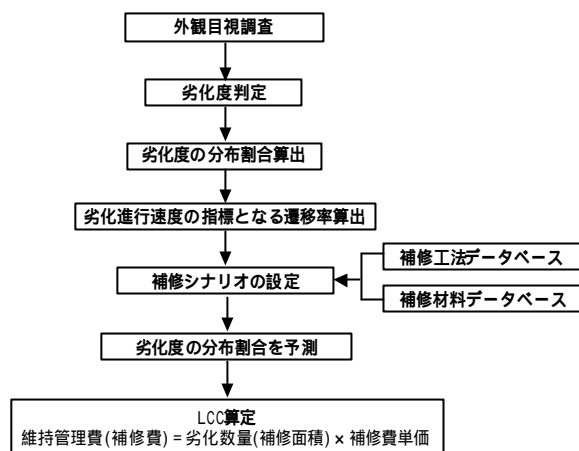
豆板の程度	深さの目安	修繕方法
粗骨材が露出しているが、表層の粗骨材を叩いてもはく落すことはなく、斫り取る必要がない程度。	1～3cm	ポリマーセメントモルタル塗布
粗骨材が露出しており、表層の粗骨材を叩くとはく落するものもある。しかし、粗骨材同士の結合力は強く連続的にバラバラとはく落することはない。	1～3cm	劣化部分の除去。 ポリマーセメントペースト塗布後ポリマーセメントモルタル充填。
鋼材のかぶりからやや奥まで粗骨材が露出し、空洞も見られる。粗骨材同士の結合力は弱まり、粗骨材を叩くと連続的にバラバラとはく落することもある。	3～10cm	劣化部分の除去。 無収縮モルタル充填。

[参考文献]

- 1) 「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
- 2) 「コンクリートの劣化と補修がわかる本」、和泉意登志編著、セメントジャーナル社
- 3) 「コンクリート建物改修事典」、コンクリート建物改修事典編集委員会、産業調査会事典出版センター
- 4) 「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術」、建築物の耐久性向上技術シリーズ建築構造編、技法堂出版株式会社
- 5) 「建築物の劣化診断と補修改修工法」、建築技術 2001 年 11 月号増刊、株式会社建築技術

2. 修繕 LCC を考えた修繕方法選定手法の提案

現状の修繕・改修工法及び材料の選定では、それぞれの工法・材料の修繕効果を適切に評価する方法が必ずしも明確になっていません。このことが修繕工法・材料の選定の際に「コスト」が重視される一因となっています。また、修繕・改修工法選定時の指標としてコストを取り上げた場合は、修繕に関するライフサイクルコスト（修繕 LCC）が最小となるような修繕工法・材料が最適なものとする考え方もあります。この修繕 LCC を算出しようとした場合には、建築物の劣化予測が必要となります。ここでは、建築物の劣化進行予測に確率論的予測手法のひとつである「マルコフ連鎖」を用いた修繕 LCC 算定法の手順と修繕シナリオの考え方について説明します。



修繕 LCC 算出までの手順

修繕 LCC 算出までの手順

外観目視調査による劣化予測から修繕 LCC 算定までの手順を右の図に示します。マルコフ連鎖の手法を適用して劣化予測及び修繕 LCC 算定を行うためには、まず、外観目視調査を行い、各劣化度の判定基準を設け、劣化度の判定を行う必要があります。

劣化度判定を行った後は、全調査単位に対する劣化度の分布割合を算出し、劣化分布割合に適合する遷移率を算出します。

修繕計画案の対策パターンとなる修繕シナリオの設定については、どこの部分を対象として修繕を行い、どのような修繕方法や修繕時期で保全を進めるかなど、膨大な組み合わせのシナリオパターンが考えられます。

修繕 LCC 算定は、シナリオごとに計算された劣化予測より、劣化数量（修繕面積）がわかることから、その劣化数量に劣化度ごとの修繕費単価を乗ずることで修繕 LCC 算定が可能となります。そのためには、劣化度に応じた修繕工法を設定し、工法別のコストデータなどを含む修繕工法データベースが必要となります。また、工法に応じて様々な修繕材料の選択肢があることから、材料の違いによって各工法の修繕効果や材工単価にも違いがでてくるため、修繕材料のデータベースも必要となってきます。

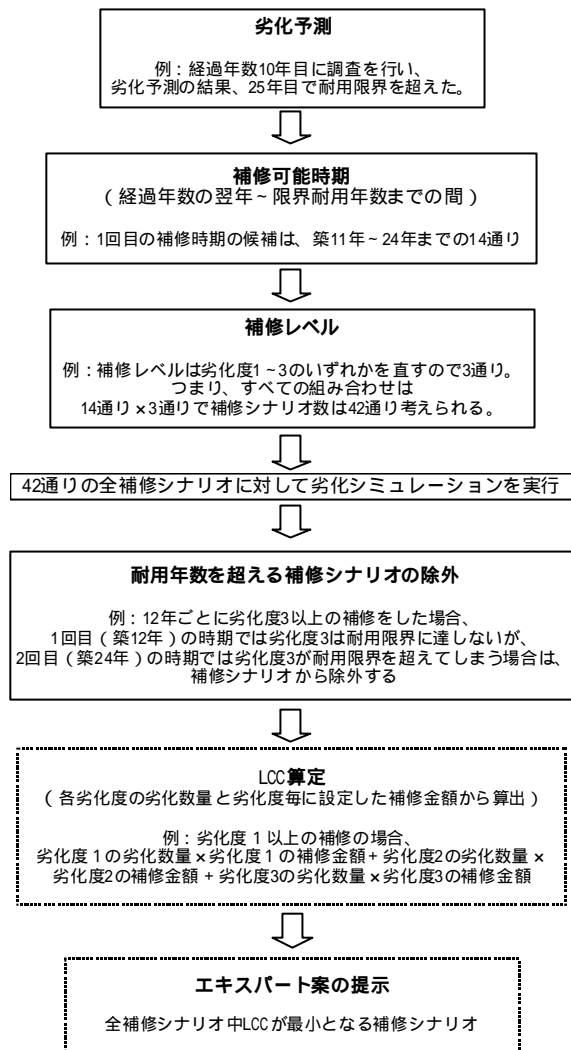
技術者各々で持っている修繕に関する実績を大勢の技術者で共有するだけでなく、このような考えから修繕工法・材料のデータベースを作成しました。

修繕シナリオ設定の考え方

シナリオの設定に際しては、修繕時期と修繕レベルを変数として考えています。修繕時期は、建物が竣工後、1回目の修繕を行う年数で、その後の再修繕のサイクルはこの年数に従うものとし、例えば1回目の修繕を12年目に行うとした場合、2回目、3回目の修繕はそれぞれ24年目、36年目に行うと考えます。また、1回目の修繕は、調査実施の翌年から、修繕を行わなかった場合に耐用限界を超える前年迄、1年きざみで設定します。ここで、耐用限界とは、修繕・改修計画を考えた場合、維持管理を行っていく上で、物理的な性能がある限界値を下回らないことが必要最低限の条件となるため、安全上、施工上、防水上などの観点から、危険（限界）となる判断を行う必要があるとして設定するものです。修繕レベルは、劣化度を0～の4段階に設定し、劣化度以上を全て修繕する場合、同じく劣化度以上を、劣化度のみを修繕する場合の3通りを考えます。なお、修繕後は劣化度0に戻るものとし、修繕後の遷移率も修繕前のそれと変わらないものと仮定します。

これらの修繕時期と修繕レベルを組み合わせた全シナリオについて、劣化予測と修繕LCCを算出し、修繕LCCが最小となる修繕シナリオを提示することで、修繕LCCに着目した場合の適切な修繕工法・材料の選定ができるものと考えています。劣化予測から修繕LCC算定を行う修繕シナリオの考え方を図に示します。ただし、シナリオの中には、図に示す様に、シナリオの途中で耐用限界を超えるものも存在する可能性があります。このような不適合なシナリオは除外します。

実際にこのような手法に基づいて修繕工法・材料を選定しようとする場合には、劣化予測や修繕LCC算定の部分は計算機に頼ることになります。この修繕LCCを指標とした手法では、必ずしも耐久性の高い工法・材料が最も低コストの選択とならない場合があります。適切な工法・材料と修繕サイクルの組み合わせにより、建物の共用期間における合理的な修繕計画を立案することができます。



劣化予測からLCC算定までの考え方

躯体に関する修繕材料データベース

								備考欄		
区分	劣化症状に応じた工法	材料種別		規格 摘要	分類	単位	工事費 (円)	標準耐用年数 (年)	施工 材料に関する事項	寒冷地に関する事項
躯体	埋め戻し工法	ポリマーセメントモルタル			補修	円/m	3,600		比較的大きな面積の箇所、断面欠損があまり深くない箇所に適	
		樹脂モルタル	エポキシ樹脂モルタル		補修	円/m	9,000		大きな過重がかからない箇所や、大面積でない場所に	
	充填工法	ポリマーセメントモルタル		ポリマーセメントモルタルを充填	補修	円/m	3,000			
		樹脂モルタル	エポキシ樹脂モルタル	エポキシ樹脂モルタルを充填	補修	円/m	7,000			
	Uカットシーリング工法	エポキシ樹脂注入材	注入用可とう性エポキシ樹脂	可とう性エポキシ樹脂を充填 平滑仕上	補修	円/m	3,600		ひび割れの挙動がある場合はひび割れ幅1.0mm以下の場合に適、挙動がない場合は1.0mm以上でも適	
		注入用シーリング材	シリコーン系	シーリング材充填 樹脂モルタル平滑仕上	補修	円/m	4,200		ひび割れの挙動がありひび割れ幅1.0mm以上の場合に	
			ウレタン系	シーリング材充填 樹脂モルタル平滑仕上	補修	円/m	3,100		ひび割れの挙動がありひび割れ幅1.0mm以上の場合に	
	ポリサルファイド系		シーリング材充填 樹脂モルタル平滑仕上	補修	円/m	3,500		ひび割れの挙動がありひび割れ幅1.0mm以上の場合に		
	樹脂注入工法	エポキシ樹脂注入材	注入用エポキシ樹脂	エポキシ樹脂を注入 100m	補修	円/m	3,720		ひび割れの挙動がみられな い0.2mm以上のひび割れに	
			注入用可とう性エポキシ樹脂	可とう性エポキシ樹脂を注入 100m	補修	円/m	3,900		ひび割れの挙動がみられる 0.2mm以上のひび割れに適	
		ポリマーセメントスラリー注入	ポリマーセメントスラリー	ポリマーセメントスラリーを注入 100m	補修	円/m	2,000		漏水など湿潤なひび割れ部分に適	
	フィルター処理工法	下塗り材 (フィルター)	微弾性フィルター		補修	円/m	500		若干の弾力性有り、ひび割れ幅0.2mm以下の小さなひび割れを目立たなくさせる	

仕上げ材に関する修繕材料データベース

										備考欄				
区分	劣化症状に応じた対策工法	材料種別		規格・摘要	分類	建設時の材 工単価 (円)	単位	更新単価係 数 (1回当り の係数)	工事費 (円)	標準耐用 年数 (年)	施工 材料に関する事項	寒冷地に関する事項		
外装仕上げ	塗膜撤去 + 塗替え工法 部分ケレン + 上塗り工法 部分ケレン + 部分上塗り	外装塗装	アクリル樹脂エナメル塗り(AE)	下塗、中塗、上塗 300㎡	建設	920	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.98	901	8				
					更新		円/㎡	1.34	1,236	20				
			2液形ポリウレタンエナメル塗り(Q-UE)	下塗、中塗、上塗 300㎡	建設	1,630	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.99	1607	8				
					更新		円/㎡	1.22	1,993	20				
			アクリルシリコン樹脂エナメル塗り(Q-ASE)	下塗、中塗、上塗 300㎡	建設	1,940	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.99	1917	8				
					更新		円/㎡	1.20	2,318	20				
			常温乾燥形ふっ素樹脂エナメル塗り(Q-FUE)	下塗、中塗、上塗 300㎡	建設	2,230	円/㎡							塗料の中では最も耐久性に優れている
					補修		円/㎡	1.13	2509	8				
					更新		円/㎡	1.25	2,794	20				
		つや有り合成樹脂エマルジョンペイント塗り(EP-G)	下塗、中塗、上塗 300㎡	建設	740	円/㎡								
				補修		円/㎡	0.98	722	8					
				更新		円/㎡	1.40	1,039	20					
		合成樹脂エマルジョンペイント塗り(EP)	下塗、中塗、上塗 300㎡	建設	640	円/㎡								
				補修		円/㎡	0.97	623	8					
				更新		円/㎡	1.44	922	20					
		マスチック塗材塗り	外装用 主材ローラー塗 300㎡	建設	1,200	円/㎡								
				補修		円/㎡	0.98	1178	8					
				更新		円/㎡	1.29	1,200	20					
		薄付け仕上塗材(リシン)	外装合成樹脂エマルジョン系薄付け仕上塗材(薄塗材E)	砂壁状 吹付 主材塗2 300㎡	建設	490	円/㎡							
					補修		円/㎡			8				
					更新		円/㎡	1.00	490	12				
防水形外装合成樹脂エマルジョン系薄付け仕上塗材(防水形外装薄塗材E)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、増塗、基礎塗、模様塗 300㎡	建設	1,320	円/㎡										
		補修		円/㎡			8							
		更新		円/㎡	1.00	1,320	12							
複層仕上塗材(吹付タイル)	ポリマーセメント系複層仕上塗材(複層塗材CE)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、主材塗、上塗2 300㎡	建設	1,260	円/㎡									
			補修		円/㎡	0.49	612	8						
			更新		円/㎡	1.00	1,260	15						
	可とう形ポリマーセメント系複層仕上塗材(可とう形複層塗材CE)	300㎡	建設	1,260	円/㎡									
			補修		円/㎡	0.49	612	8						
			更新		円/㎡	1.00	1,260	15						
合成樹脂エマルジョン系複層仕上塗材(複層塗材E)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、主材塗、上塗2 300㎡	建設	1,050	円/㎡										
		補修		円/㎡			8							

仕上げ材に関する修繕材料データベース

										備考欄				
区分	劣化症状に応じた対策工法	材料種別		規格 摘要	分類	建設時の材 工単価 (円)	単位	更新単価係 数 (1回当り の係数)	工事費 (円)	標準耐用 年数 (年)	施工 材料に関する事項	寒冷地に関する事項		
外装仕上げ	塗膜撤去 + 塗替え工法 部分ケレン + 上塗り工法 部分ケレン + 部分上塗り	複層仕上塗 材(吹付タイ ル)	防水形ポリマーセメント系 複層仕上塗材(防水 形複層塗材CE)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、増塗、基礎塗2、模 様塗、上塗2 300㎡	建設	1,930	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.51	992	8				
					更新		円/㎡	1.00	1,930	15				
			反応硬化形成成樹 脂エマルジョン系複層仕 上塗材(複層塗材 RE)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、主材塗、上塗2 300㎡	建設	1,330	円/㎡							
					補修		円/㎡					8		
					更新		円/㎡	1.00	1,330	15				
			合成樹脂溶液系複 層仕上塗材(複層塗 材RS)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、主材塗、上塗2 300㎡	建設	1,760	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.51	894	8				
					更新		円/㎡	1.00	1,760	15				
			けい酸質系複層仕 上塗材(複層塗材Si)	ゆず肌模様 ローラー塗 下塗、主材塗、上塗2 300㎡	建設	1,300	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.48	625	8				
					更新		円/㎡	1.00	1,300	15				
	全面タイル 張替え タイル張替 え + 充填工法	タイル	小口タイル張	密着 磁器質	建設	9,000	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.02	198	10				
					更新		円/㎡	1.32	11,889	40				
			二丁掛タイル張	密着 磁器質	建設	8,910	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.02	134	10				
					更新		円/㎡	1.32	11,761	65				
			モザイクタイル張	マスク張	建設	6,830	円/㎡							
					補修		円/㎡	0.02	130	10				
					更新		円/㎡	1.42	9,719	40				
	モルタル充填 工法	ポリマーセメントモルタル		ポリマーセメントモルタルを充填 平滑仕上	補修		円/箇所		1,500					
		エポキシ樹脂モルタル		エポキシ樹脂モルタルを充 填	補修		円/箇所		5,000					
	アンカーピ ンニング工 法 (モルタル)	アンカーピンニング (部分エポキシ樹脂注入)		アンカーピン エポキシ樹脂で 躯体コンクリートに部分固定 30g/穴	補修		円/穴		700					
アンカーピンニング (全面エポキシ樹脂注入)		アンカーピン部分13穴/㎡・ 30g/穴 注入部分12穴/㎡・30g/ 注入部分12穴/㎡・30g/	補修		円/㎡		16,300							
注入口付アンカーピンニング (部分エポキシ樹脂注入)		注入口付アンカーピン使 用 30g/本	補修		円/穴		880			タイルの大きさは小口タイ ル以上を目安				
注入口付アンカーピンニング (全面エポキシ樹脂注入)		アンカーピンニング部分13穴/ ㎡・30g/穴、注入部分12 穴/㎡・30g	補修		円/㎡		18,900			タイルの大きさは小口タイ ル以上を目安				

仕上げ材に関する修繕材料データベース

										備考欄				
区分	劣化症状に応じた対策工法	材料種別		規格 摘要	分類	建設時の材 工単価 (円)	単位	更新単価係 数 (1回当り の係数)	工事費 (円)	標準耐用 年数 (年)	施工・材料に関する事項	寒冷地に関する事項		
外装仕上げ	アンカーピンニング工法 (タイル)	アンカーピンニング (部分エポキシ樹脂注入)		アンカーピン・エポキシ樹脂で 躯体に部分固定 30g/穴	補修		円/穴		700					
		アンカーピンニング (全面エポキシ樹脂注入)		アンカーピン部分13穴/㎡・ 30g/穴 注入部分12穴/㎡・30g/	補修		円/㎡		16,300					
		注入口付アンカーピンニング (部分エポキシ樹脂注入)		注入口付アンカーピン使 用・ 30g/本	補修		円/穴		880			タイルの大きさは小口タイ ル以上を目安		
		注入口付アンカーピンニング (全面エポキシ樹脂注入)		アンカーピンニング部分13穴/ ㎡・30g/穴、注入部分12 穴/㎡・30g	補修		円/㎡		18,900			タイルの大きさは小口タイ ル以上を目安		
	樹脂注入工 法	エポキシ樹 脂注入材	注入用エポキシ樹脂	エポキシ樹脂注入 100m	補修		円/m		3,720			ひび割れの挙動がみられ ない場合に使用		
			注入用可とう性エポ キシ樹脂	可とう性エポキシ樹脂注 入 100m	補修		円/m		3,900			ひび割れの挙動がみられ る場合に使用		
	Uカットシー ル工法	エポキシ樹 脂注入材	注入用可とう性エポ キシ樹脂	可とう性エポキシ樹脂を 充填 平滑仕上	補修		円/m		3,600			ひび割れの挙動がある場 合はひび割れ幅1.0mm以下 の場合に適、挙動がない 場合は1.0mm以上でも適		
			注入用シー リング材	シリコン系	シリコン系シーリング材充填 樹脂モルタル平滑仕上	補修		円/m		4,200			ひび割れの挙動がありひ び割れ幅1.0mm以上の場合	
				ウレタン系	ウレタン系シーリング材充填 樹脂モルタル平滑仕上	補修		円/m		3,100			ひび割れの挙動がありひ び割れ幅1.0mm以上の場合	
	ポリサルファイド系	ポリサルファイド系シーリング材 充填 樹脂モルタル平滑仕上		補修		円/m		3,500			ひび割れの挙動がありひ び割れ幅1.0mm以上の場合 に適			

シーリングに関する修繕材料データベース

										備考欄						
区分	対策工法	材料種別	規格・摘要	分類	建設時の材工単価(円)	単位	更新単価係数(1回当りの係数)	工事費(円)	標準耐用年数(年)	シーリング材と改修塗材の適合性	材料に関する事項	寒冷地に関する事項				
外壁 シーリング	シーリングの打替え	シリコン系 (1成分形 湿気硬化型)	1成分形 10×10 500m	建設	720	円/m				不適	紫外線に強く、乾燥後はホコリも付きにくい。仕上げ面として使用する。塗膜との密着が弱い。上から塗装膜を被せる時には使用しない。					
				更新		円/m	3.20	2306	15							
		シリコン系 (2成分形 反応硬化型)	2成分形 10×10 500m	建設	560	円/m										
				更新		円/m	3.59	2008	15							
		変性シリコン系 (反応硬化型)	2成分形 10×10 500m	建設	450	円/m								薄塗材Si以外条件により適	紫外線に強く、乾燥後はホコリも付きにくい。仕上げ面として使用する。	
				更新		円/m	3.59	1614	15							
		ポリサルファイド系 (反応硬化型)	2成分形 10×10 500m	建設	450	円/m					可とう形薄塗材E、Si、防水形薄塗材E、及び防水形複層塗材CE、E、RE、RS、厚塗材C、CEは条件により適	硬化後にゴム弾力性を持つ。				
				更新		円/m	3.59	1614	15							
		ポリウレタン系 (湿気硬化型)	1成分形 10×10 500m	建設	350	円/m					可とう形薄塗材E、Si、防水形薄塗材E、及び防水形複層塗材CE、E、RE、RSは適	硬化後にゴム弾力性を持つ。耐久性は最も高いが、そのままの状態では紫外線に弱く、また、ホコリを吸い付けて汚れやすいため、塗膜で被せる場合に使用する。				
				更新		円/m	3.20	1121	15							
		アクリル系 (乾燥硬化型)	1成分形 10×10 500m	建設	240	円/m					-	硬化後、弾性体となり湿った面にも使用可。耐久性が低い。改修時には使用される場合は少ない。				
				更新		円/m	3.20	769	15							

