

多機能防食デッキの設計、 製作および施工事例

目 次

1. 多機能防食デッキの種類と施工事例
2. 多機能防食デッキのパネル特性
3. 多機能防食デッキの設計方法

日鉄エンジニアリング(株)	田村	康行
(株)横河ブリッジホールディングス	川東	龍則
宮地エンジニアリング(株)	山下	修平

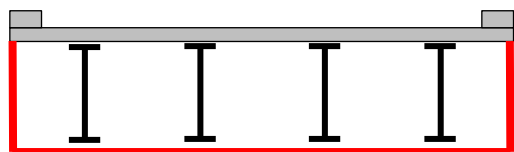


1. 多機能防食デッキの種類と施工事例

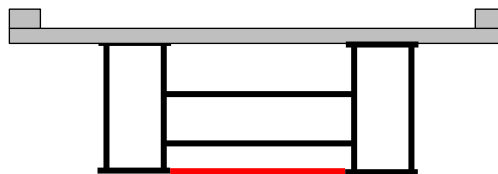
多機能防食デッキの種類と施工事例

1. 適用範囲の種類

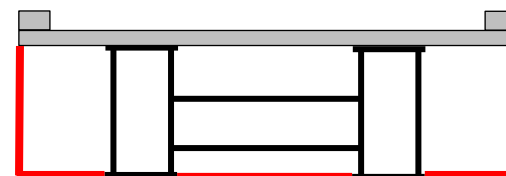
① 全面適用



② 桁間部適用

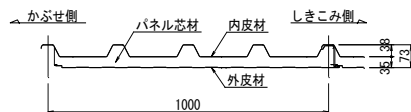


③ 桁間・張出部適用

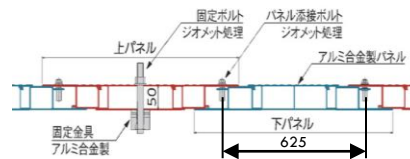


2. 使用材料の種類

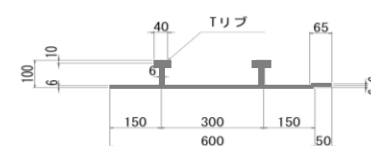
① 金属サンドイッチパネル
(チタン・塗装ステンレス)



② アルミ合金パネル



③ GFRPパネル



3. 全国の施工事例

(1) 金属サンドイッチパネル

沖縄県：那覇大橋



福岡県：アイランドシティ高架橋



東京都：羽田空港D滑走路栈橋



羽田空港D滑走路棧橋・連絡橋（2006～2010）

D滑走路棧橋・連絡橋完成状況



滑走路供用状況



管理用道路橋



内部（除湿・照明あり）



内部点検状況



羽田空港D滑走路棧橋・連絡橋（2006～2010）

施工状況

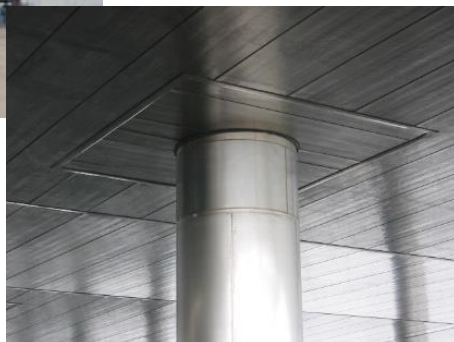
工場での加工・組立



地組場での設置



地組場 ジャケット上載



大ブロック198基
延べ56万㎡

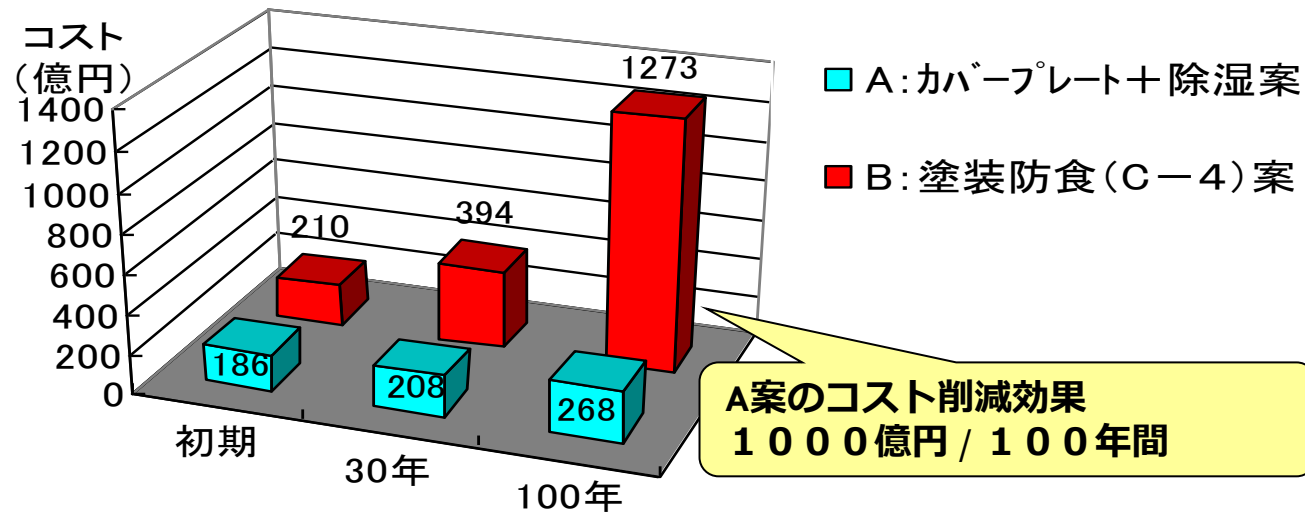
多摩川河口

海上設置工事



羽田空港D滑走路棧橋・連絡橋

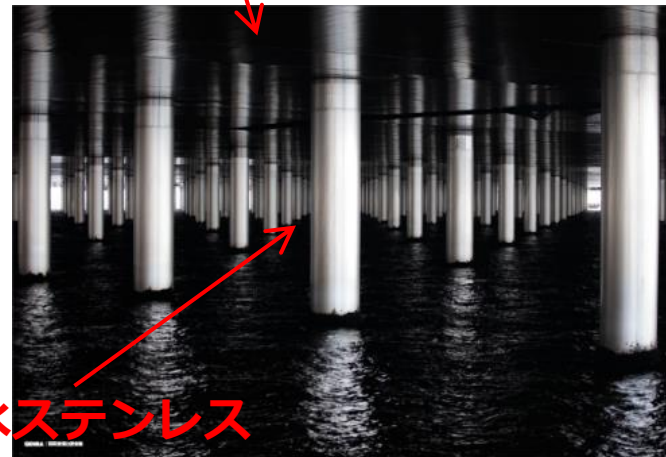
1) 棧橋部の防食ライフサイクルコスト比較



2) チタン採用の理由

- ・ 海上の軒下・水平面
- ・ 腐食環境の厳しさ ① > ②
- ・ 長期耐久・メンテフリー

① チタン (多機能防食デッキ)



② 耐海水ステンレス

羽田空港D滑走路棧橋・連絡橋

3) 風荷重算定

- ・ 大空間モデルの流体解析で外圧係数を算定、全体特性把握
- ・ 部分模型・風洞実験による風圧測定で局部現象の把握
- ・ 風洞実験値と解析値の比較結果を基に条件修正した解析を再実施

羽田 滑走路棧橋

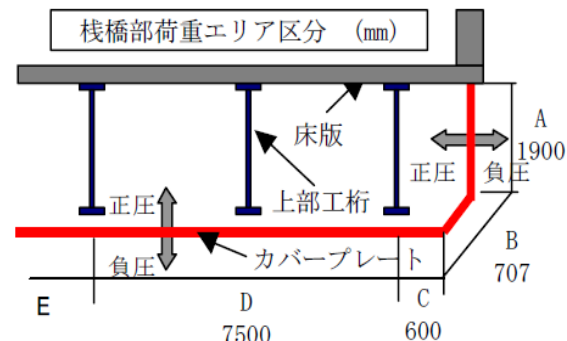
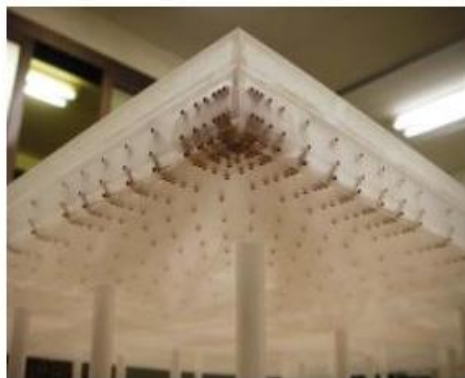
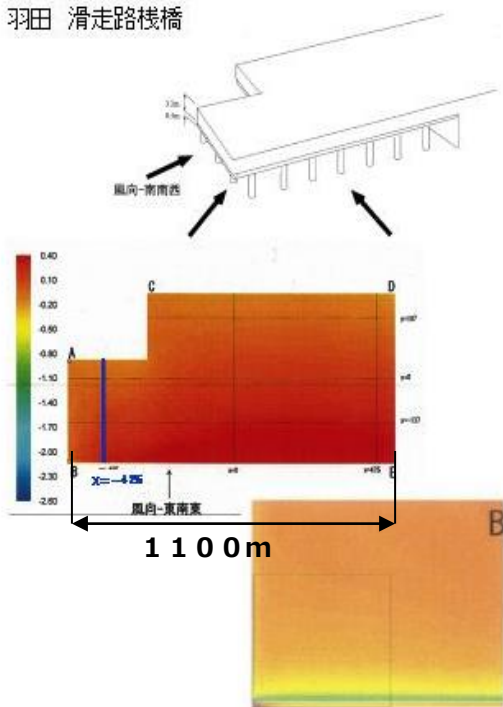


表-1 荷重エリア区分毎の各係数値と風荷重

棧橋風洞 実験結果		風荷重 W (kN/m ²)	ピーク外 圧係数	平均外 圧係数	キャスト影 響係数
A: 側面	正圧	2.97	1.97	0.95	2.07
	負圧	-4.08	-2.70	-1.23	2.20
B: 隅切	負圧	-5.80	-3.84	-1.25	3.07
C: 裏面	負圧	-4.95	-3.28	-1.01	3.25
D: 裏面	負圧	-2.90	-1.92	-0.79	2.43
E: 裏面	負圧	-1.51	-1.00	-0.45	2.22

(2) アルミ合金パネル

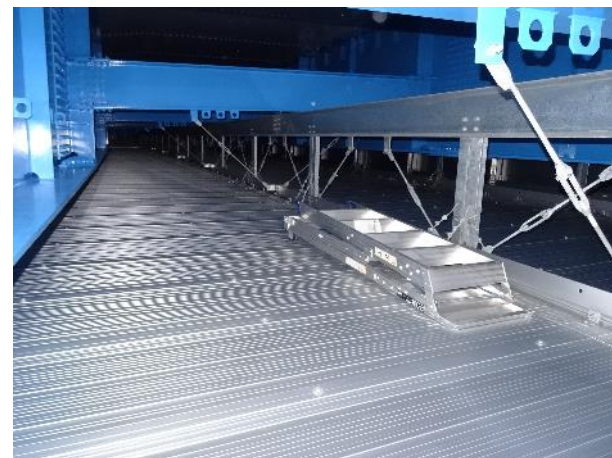
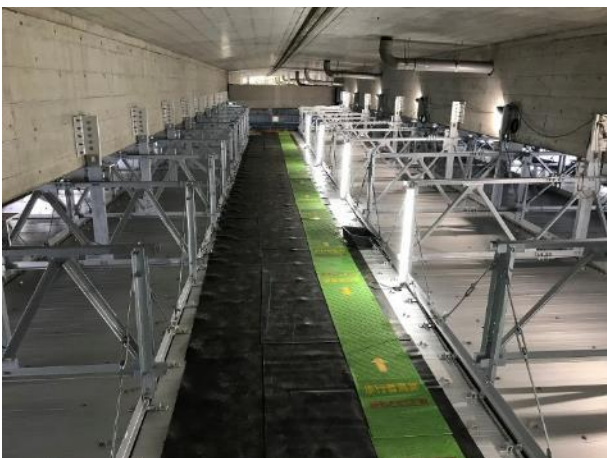
香川県：櫃石島高架橋



神奈川県：鶴見つばさ橋隣接部



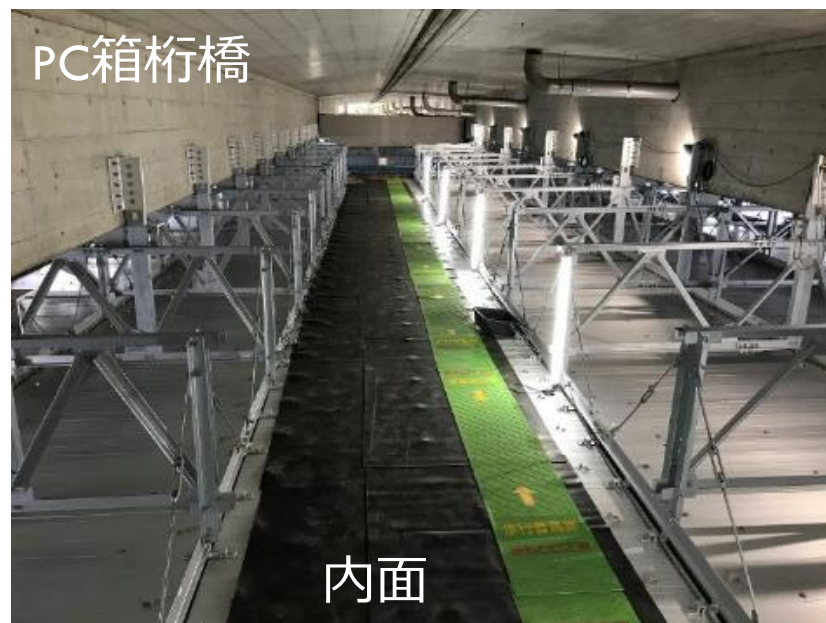
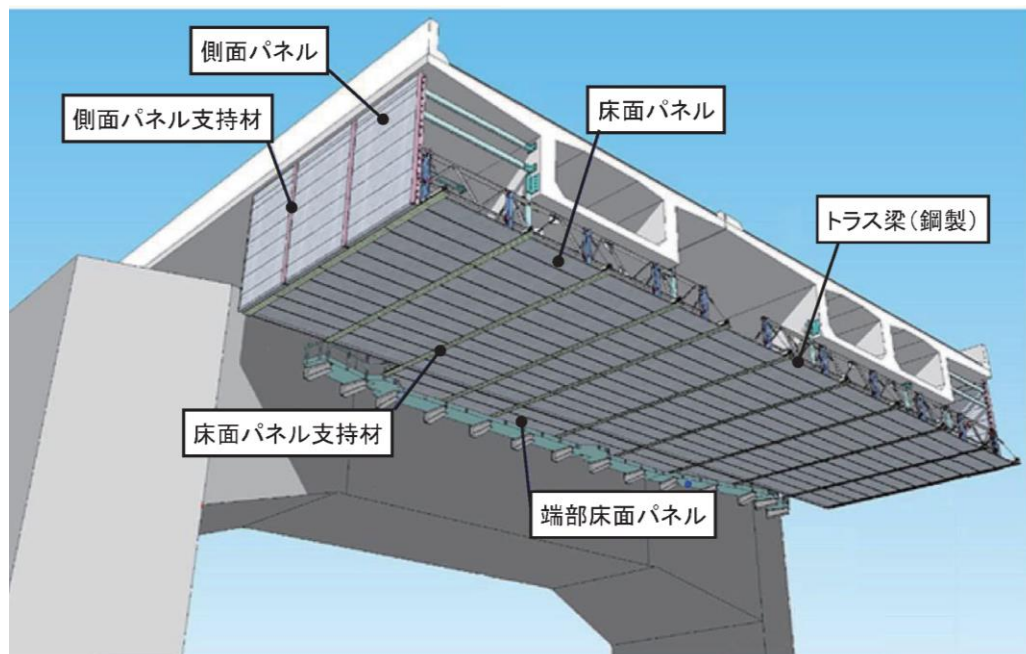
和歌山県：小熊高架橋



櫃石島高架橋

【PC箱桁橋】へのアルミ合金製常設足場の適用

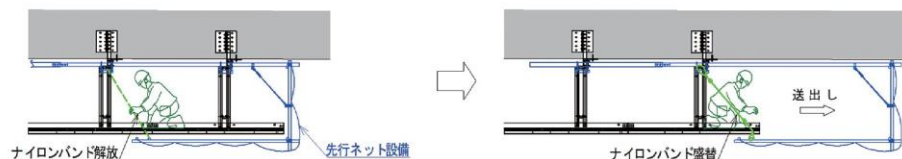
- ① 劣化因子遮断
- ② 目視点検の合理化
- ③ コンクリート剥落等の第三者リスクの低減
- ④ 移動式先行ネット設備を用いた送出し工法



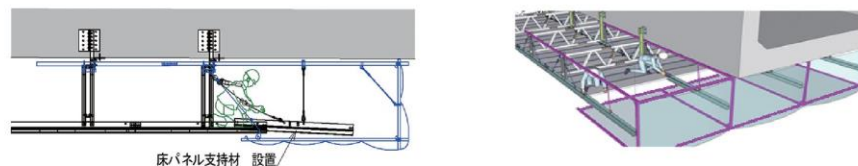
櫃石島高架橋

【移動式先行ネット設備を用いた送出し工法】

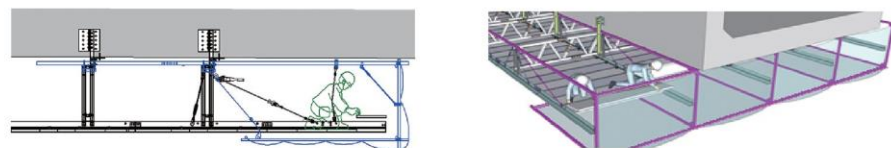
【STEP .1】 先行ネット設備 送り出し



【STEP .2】 床面パネル支持材 設置



【STEP .3】 床面パネル 敷設

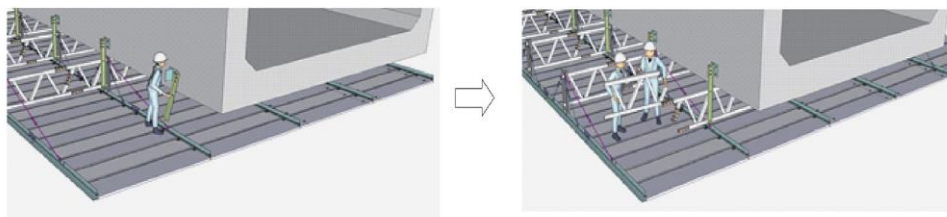


【STEP .4】 鋼製支持材取り付け

※未記載であるが、先行ネット設備を設置した状態での施工。

トラス梁支持材 設置

トラス梁 設置



安全かつ容易に

施工が可能

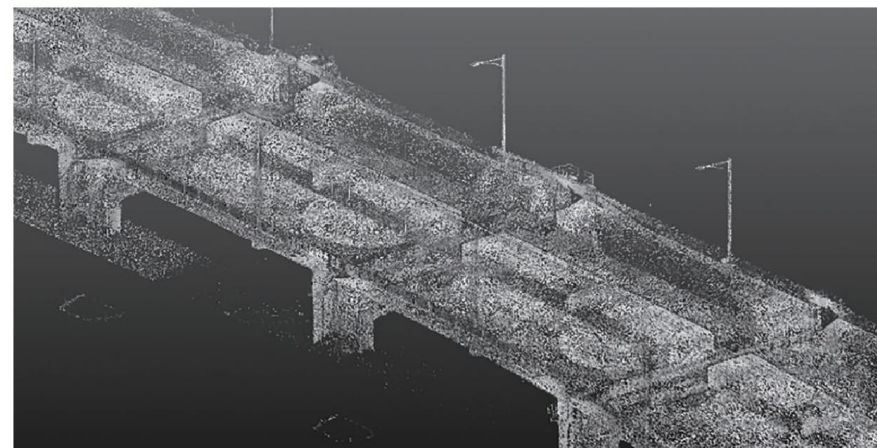
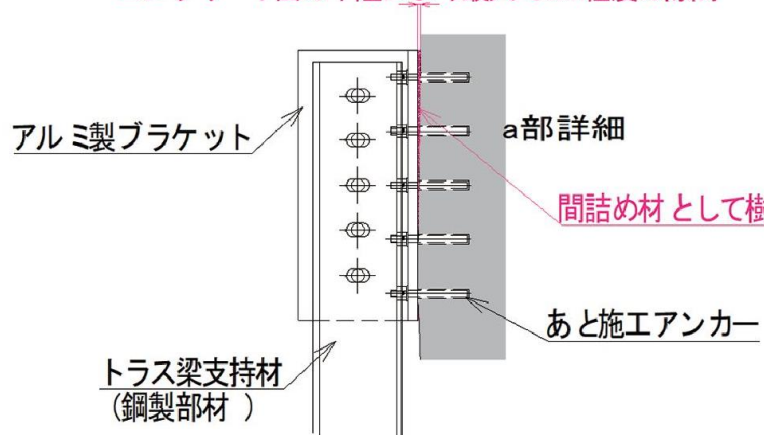
P C桁への施工



“ a ”部
トラス梁支持材 定着部

a部詳細

コンクリート面の不陸により最大で8mm程度の隙間



(3) GFRPパネル

愛知県：鹿島大橋



沖縄県：下田原大橋



沖縄県
：沖縄科学技術大学院大学 2 号橋



愛知県：古間木橋



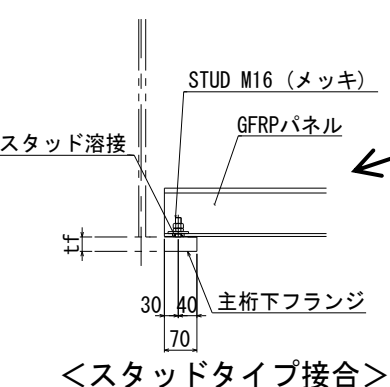
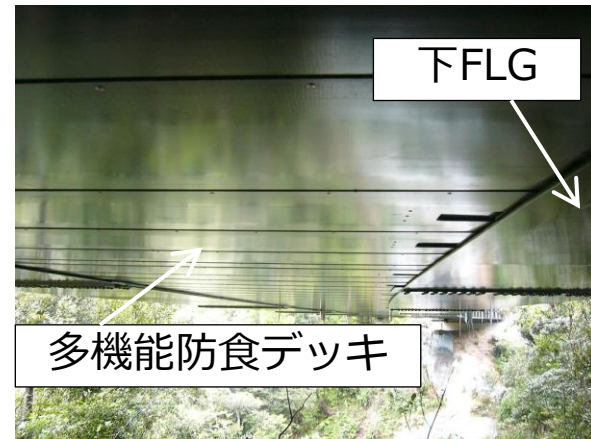
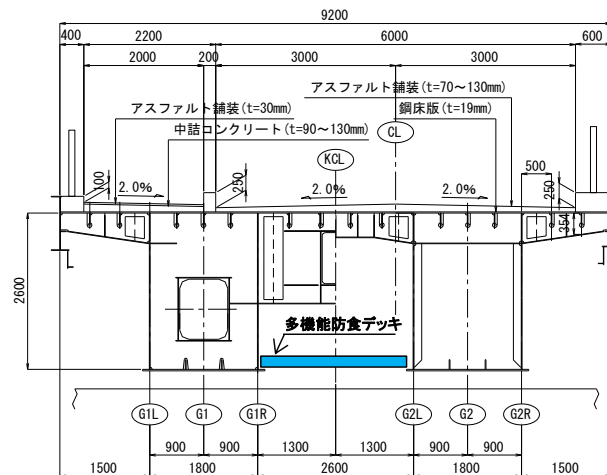
和歌山県：山本陸橋



沖縄科学技術大学院大学 2号橋 (2009~2010)

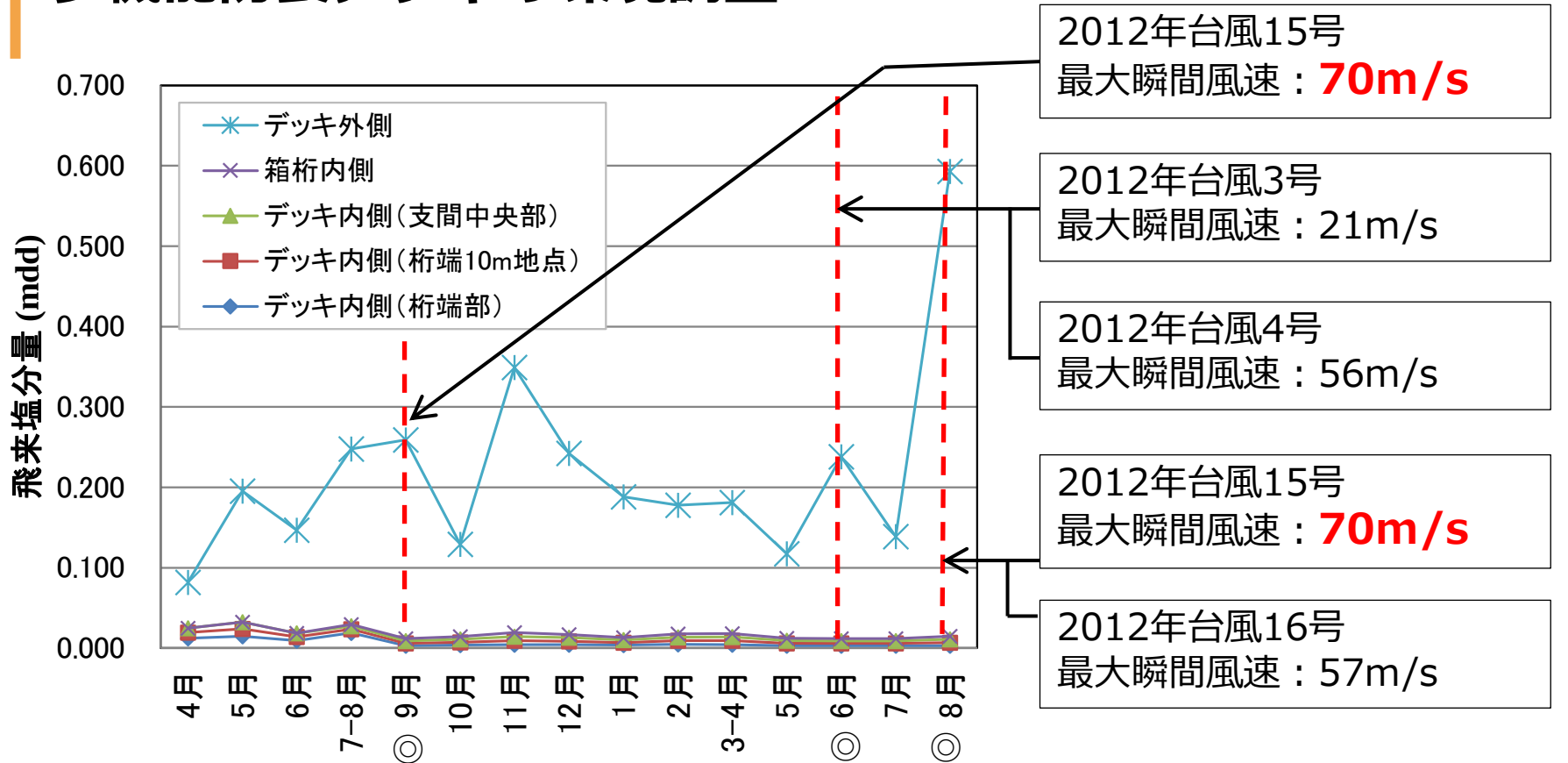
沖縄初の多機能防食デッキの施工事例

沖縄科学技術大学院大学



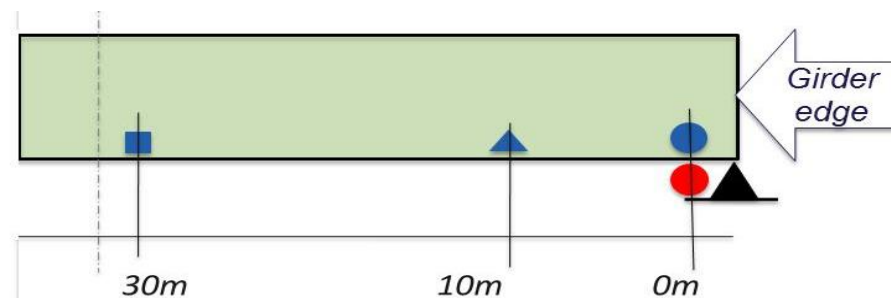
GFRPは鋼の1/3の比重
⇒狭い施工空間でも人力設置

多機能防食デッキの環境調査

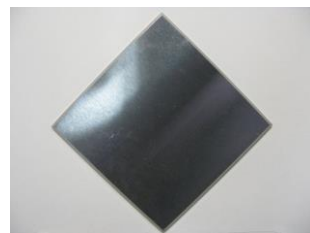


【多機能デッキ内側】

【多機能デッキ外側】

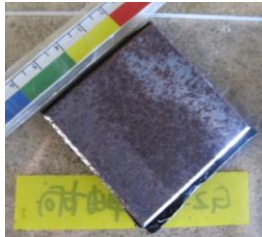


多機能防食デッキの環境調査

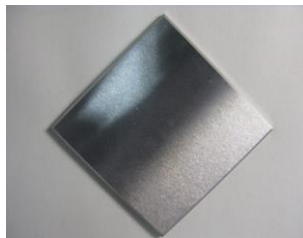
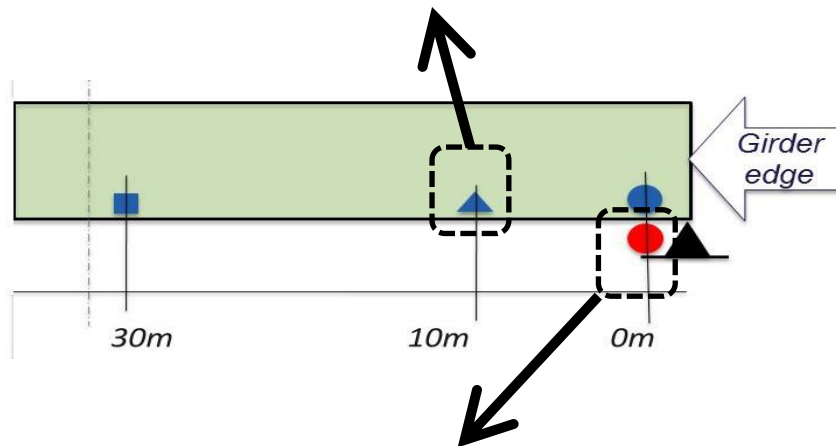


桁内 M1210

375日経過



桁内 M1210

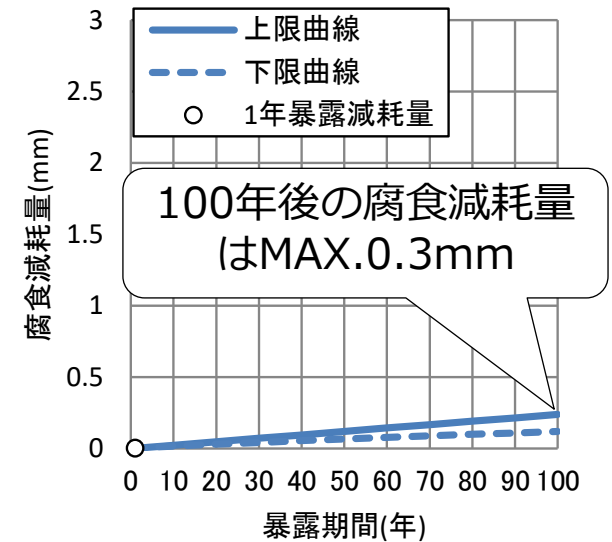
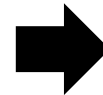


桁下 M1206

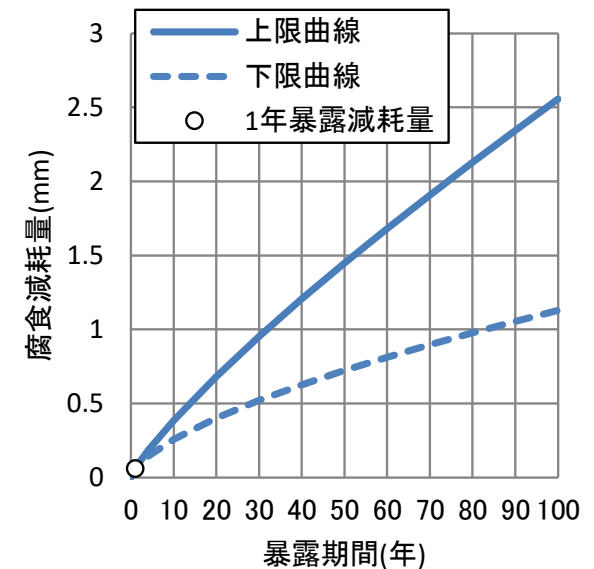
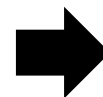
375日経過



桁下 M1206



デッキ内の**塗装簡略化**が可能

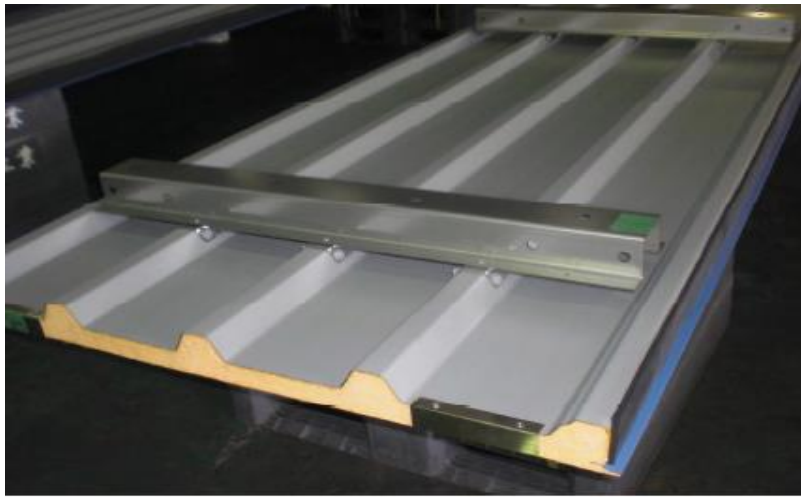




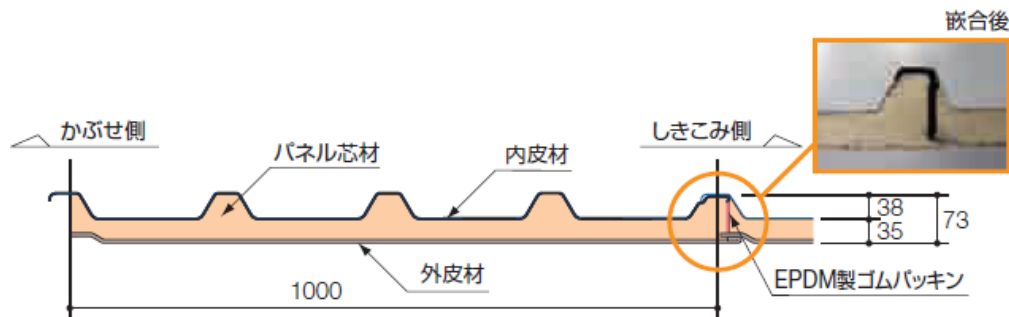
2. 多機能防食デッキのパネル特性

金属サンドイッチパネル_パネルについて

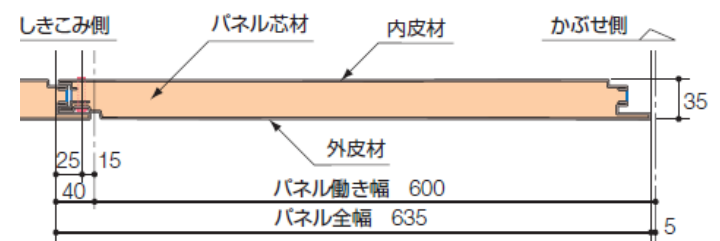
裏面パネル



側面パネル



名 称	内皮材	外皮材	芯 材	寸 法	単位重量
チタンパネル	ガルバリウム	純チタン板 (0.4mm)		働き幅1000mm	10.0kg/m ²
ステンレス パネル	塗装鋼板 (0.6mm)	SUS塗装鋼板 (0.4mm)	ポリイソシアヌ レートフォーム	製品厚73mm 長さ12m以下	12.0kg/m ²



金属サンドイッチパネル_各種試験

パネル静的載荷試験



写真-2 チタンパネルの曲げ試験状況

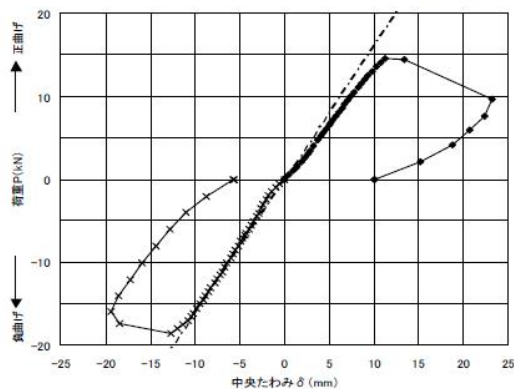
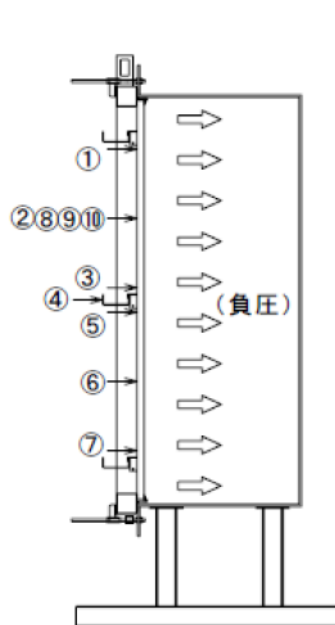


図-4 荷重-変位の関係

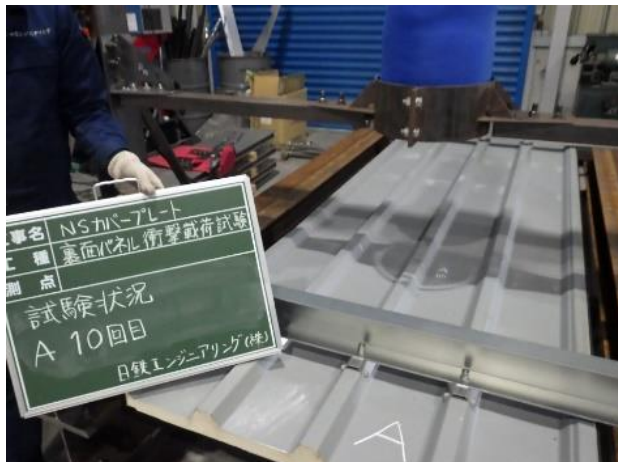


側面パネル負圧試験

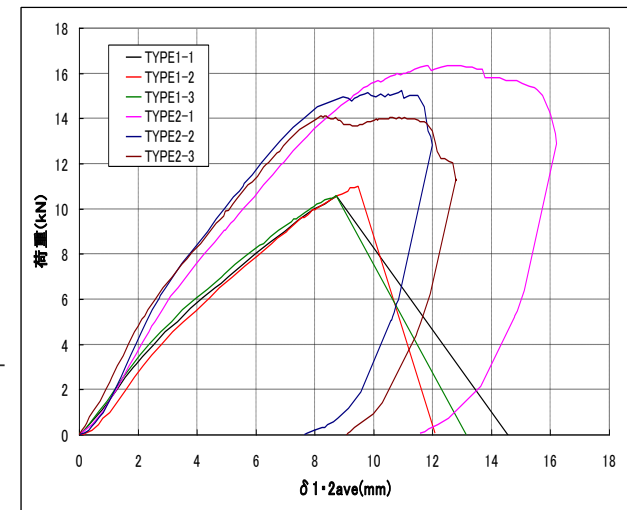
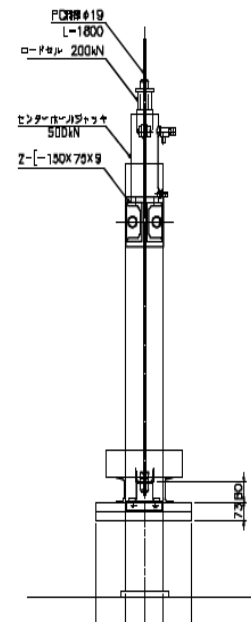


金属サンドイッチパネル_各種試験

パネル衝撃载荷試験

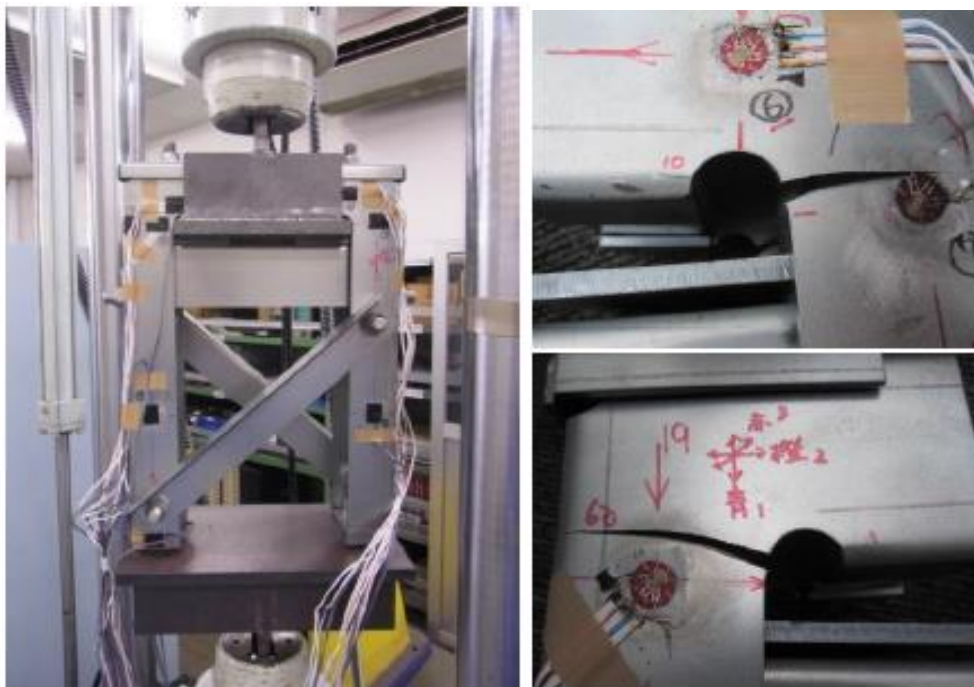


裏面パネル付き金具 強度試験



金属サンドイッチパネル_各種試験

支持金具 (フランジ挟み込み形式) 疲労試験



パネル芯材 加熱促進試験



図一解 2.4 引張試験後の供試体 (100℃、60 年)

アルミ合金パネル_パネルについて

アルミ製中空押出し材を組み合わせ
(嵌合して) パネルを形成

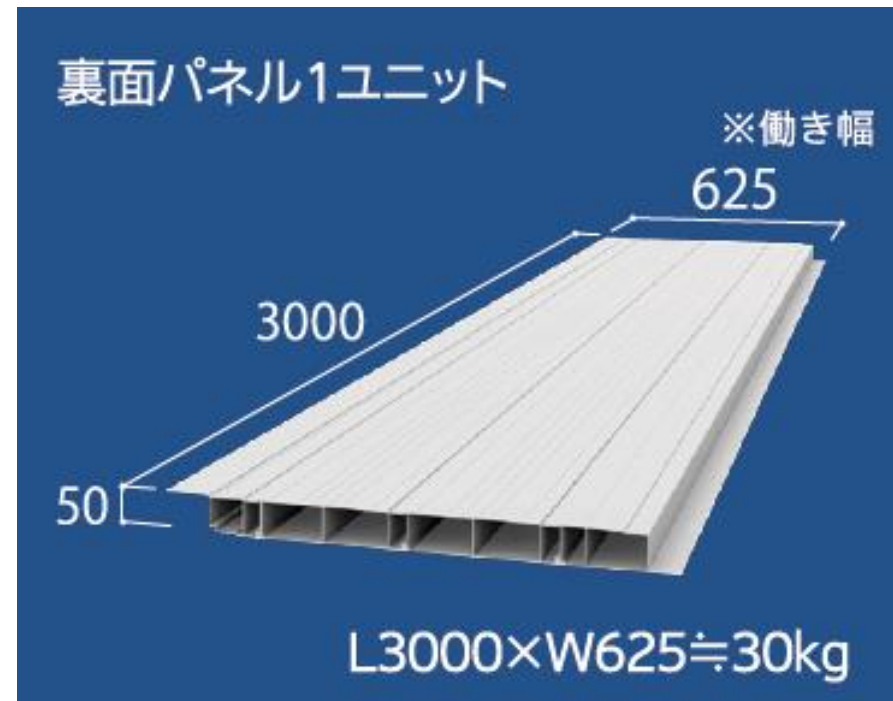
■ パネル厚：
裏面50mm，側面30mm

■ 設計荷重： 3.5kN/m^2

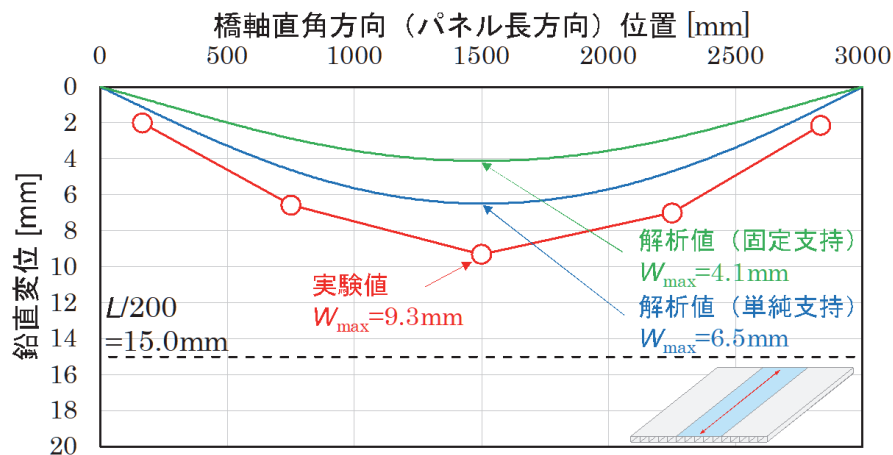
■ パネル重量： 15kg/m^2

■ 異種金属対策

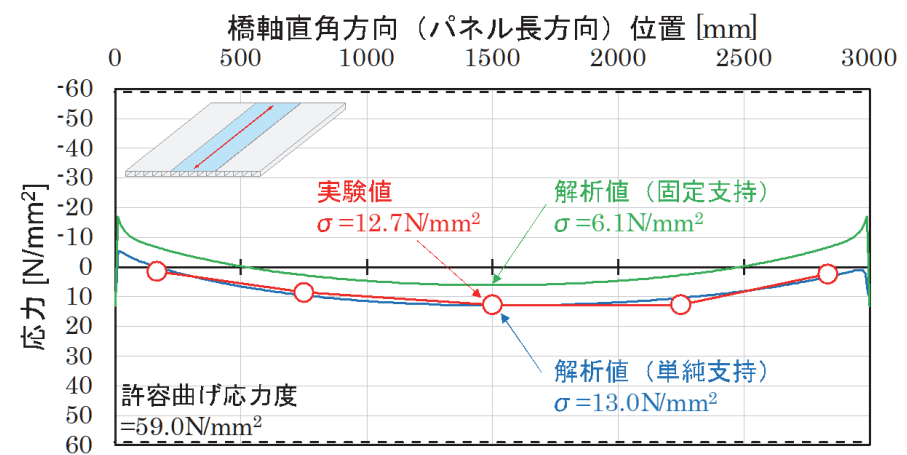
- ・ 部材間に絶縁ゴム設置
- ・ ジオメット処理のステンレスボルト使用



アルミ合金パネル_静的載荷試験



(d) 3000mm ($L/200$) 3パネル (中央パネル載荷)



(d) 3000mm ($L/200$) 3パネル (中央パネル載荷)

設計荷重(死荷重, 作業荷重, 風荷重)の許容値に
対して十分余裕があることを確認

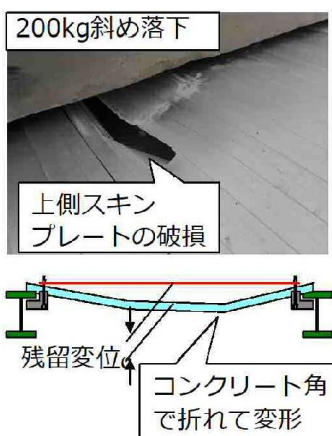
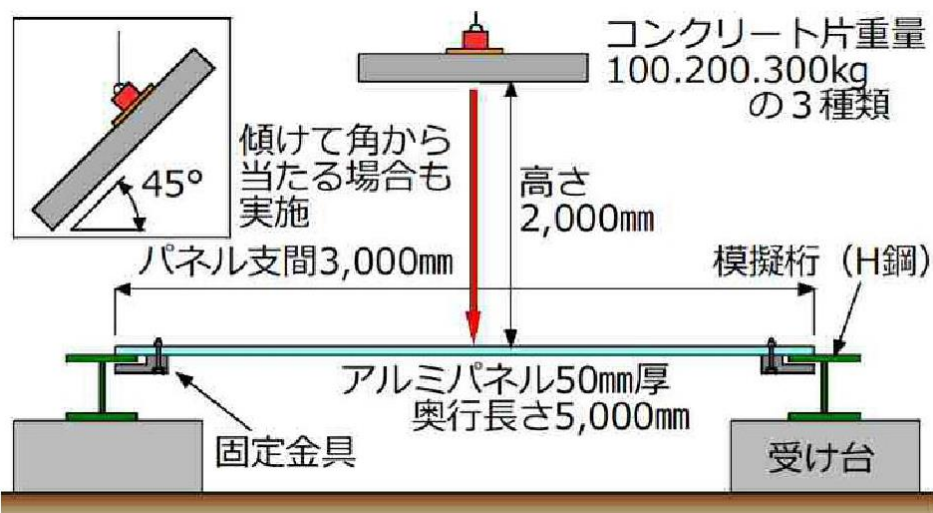
アルミ合金パネル_振動試験・歩行試験

■ 振動試験

- ・ パネルの固有振動数が、歩行者の歩調振動数(1.5～2.3Hz)の範囲外であることを確認
→作業者の歩行等によって共振する可能性が小さい



アルミ合金パネル_コンクリート片落下試験



桁受けタイプ

単位: mm

重量	落下方法	残留変位
100kg	水平	10
	斜め	10
200kg	水平	9
	斜め	3
300kg	水平	15
	斜め	113

アルミパネルの破断なし

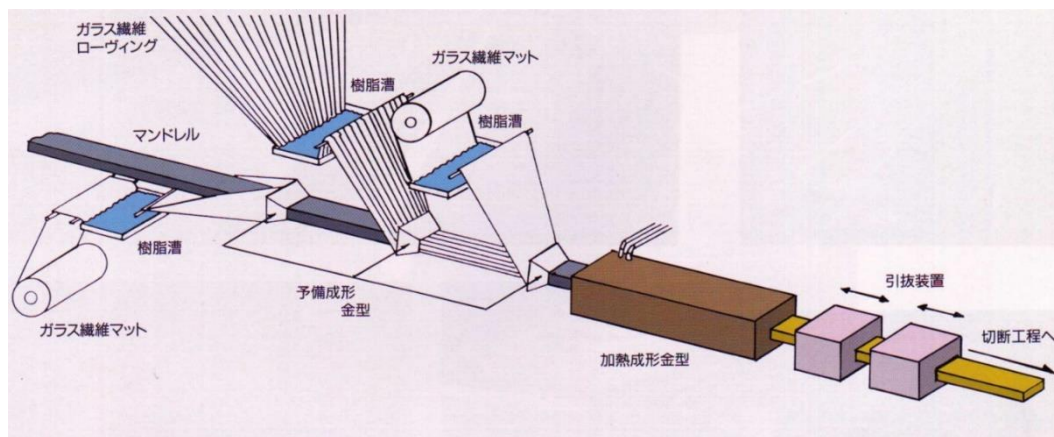
コンクリート片落下による
第三者被害のリスク低減に寄与

GFRPパネル_素材特性

軽くて強い、腐食・塩害に強い、成形・着色の自由度が高い

✓引抜成形法

繊維に樹脂液を含浸し，断面形状に予備成形した後，金型に引き入れ加熱硬化させたものを引き出す方法。



ガラスロービング



ガラスチョップド
ストランド



ガラスマット



強化繊維



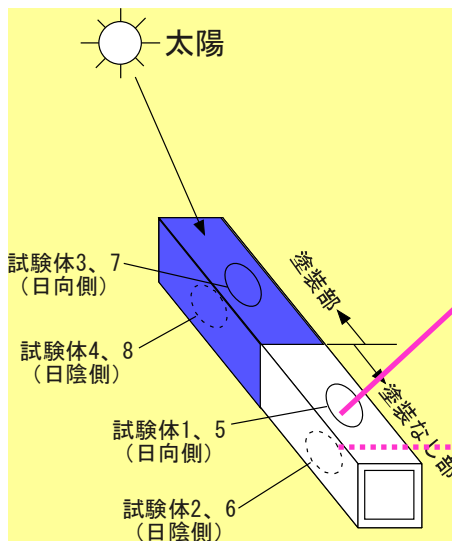
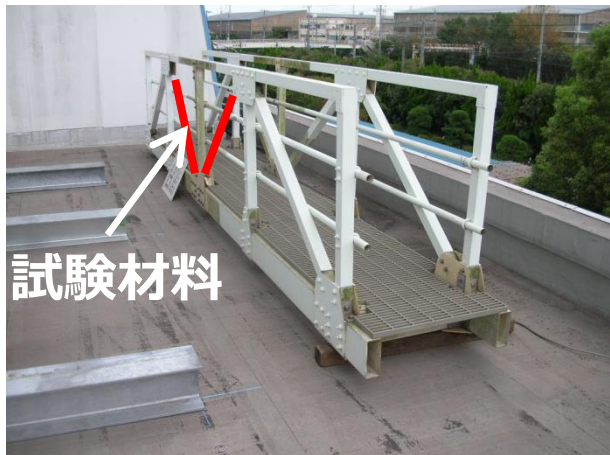
【強度】

- ・ ガラス
- ・ カーボン
- ・ アラミド等

GFRPパネル_素材特性

海岸部の工業地帯に**15年間屋外曝露**していた

GFRP材の引張試験結果



塗装なし
(日向)

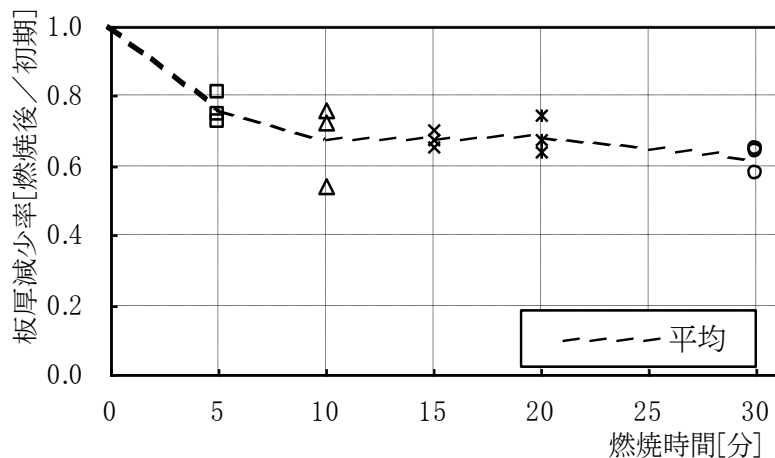
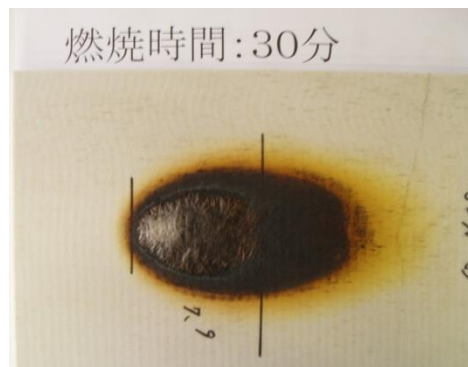
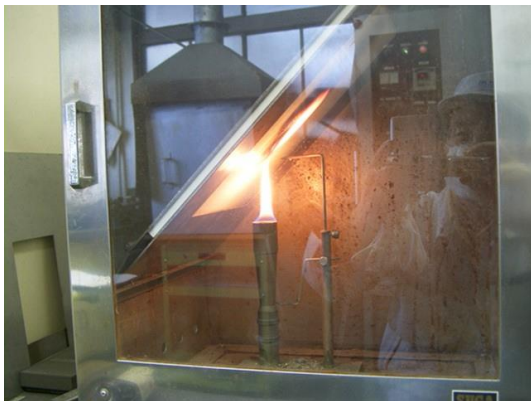


塗装なし
(日陰)

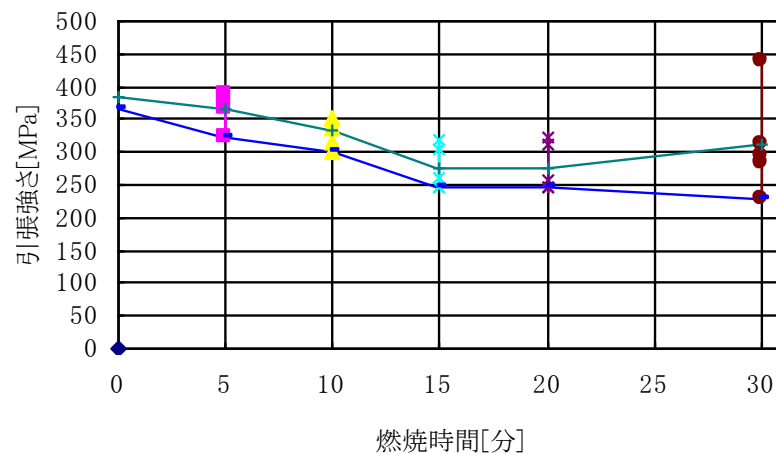
15年屋外曝露材 (実験値)	試験体採取箇所	1	2	3	4	5	6	7	8
	塗装の種類	A(ふっ素樹脂塗装)				B(ウレタン樹脂塗装)			
	塗装の有無	塗装なし		塗装あり		塗装なし		塗装あり	
	太陽光の向き	日向	日陰	日向	日陰	日向	日陰	日向	日陰
	引張強度(MPa)	438	438	452	448	437	424	458	432
	引張弾性率(GPa)	31	31	30	31	30	30	30	30
初期値 (推定値)	引張強度(MPa)	410~450							
	引張弾性率(GPa)	30~34							

GFRPパネル_素材特性

<難燃性試験>



燃焼による板厚減少率



燃焼による強度変化

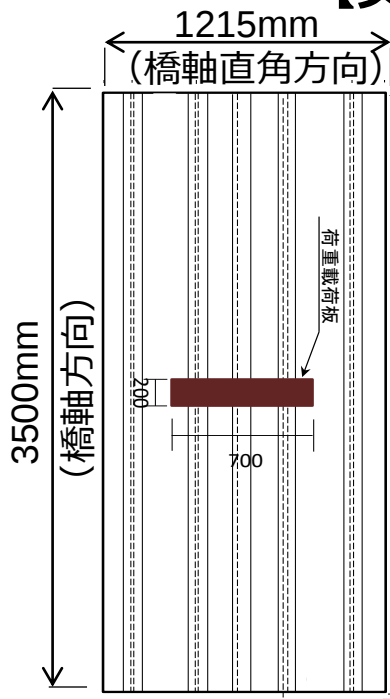
板厚減少(60%), 強度低下(70%) ⇒初期の40%程度を保持

GFRPパネル_耐荷性能

琉球大学との共同研究により耐荷性能を検証

試験内容	照査項目	測定項目
静的荷重載荷試験	点検路としての耐荷性	変位・ひずみ
疲労載荷試験	点検路としての耐久性	変位・ひずみ
破壊試験	破壊性状	変位・ひずみ・破壊荷重
孔明クーポン引張	接合構造部の耐荷性	引張強度

【実物パネル載荷試験】



【クーポン引張試験】



GFRPパネル_耐荷性能

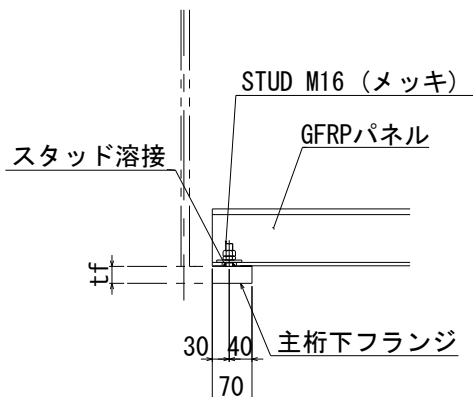
破壊載荷試験

➤ 実験概要

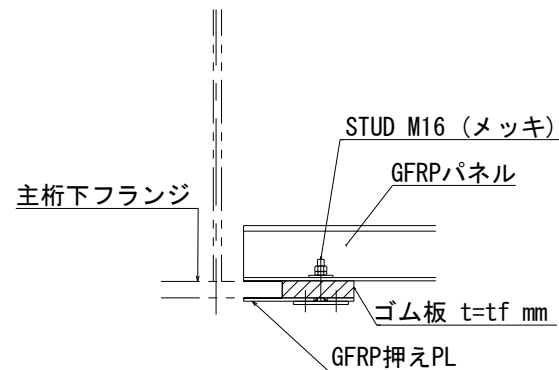
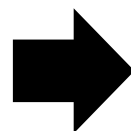
- ・ 破壊に至るまで集中荷重を載荷
- ・ 破壊時のパネル調査を行い破壊性状を検証



<多機能防食デッキの接合構造>



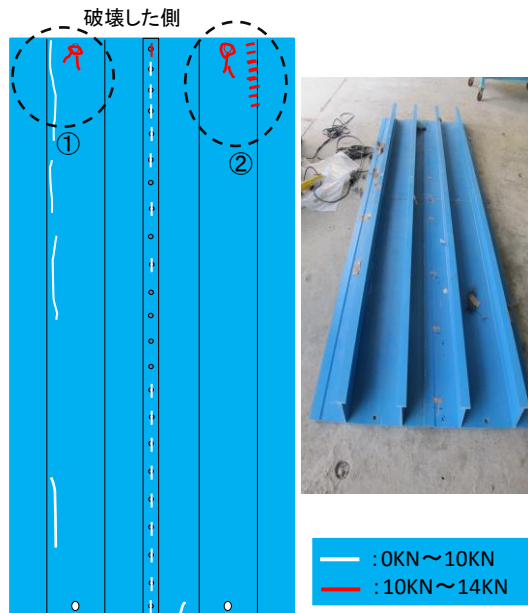
<スタッドタイプ接合>



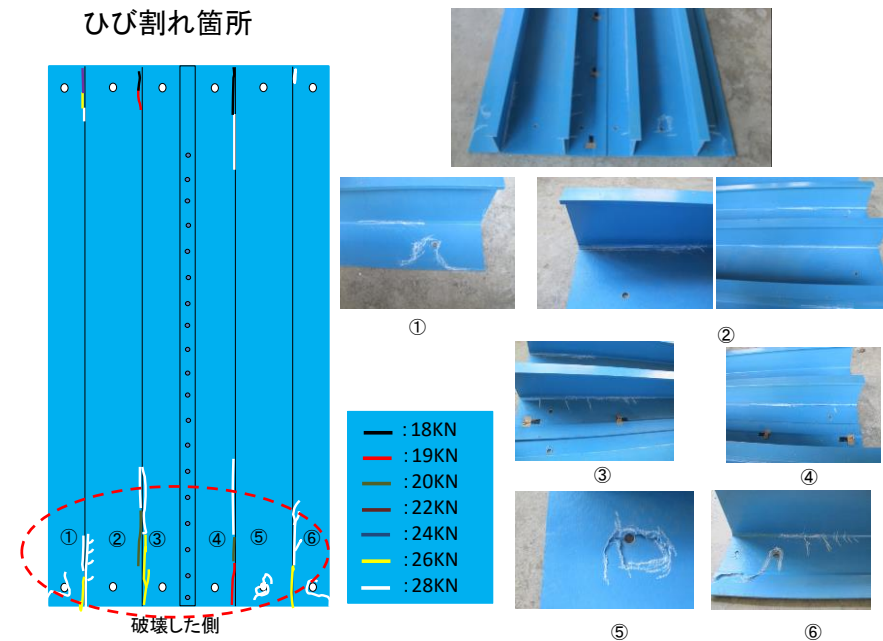
<クリップタイプ接合>

GFRPパネル_耐荷性能

【スタッド接合】



【クリップ接合】



✓ **スタッドタイプ** : 8kN時にひび割れが発生。18kN時に接合部より破壊した。

✓ **クリップタイプ** : 18kN時にひび割れが発生。28kN時に接合部より破壊した。



3. 多機能防食デッキの設計法

多機能防食デッキの 設計方法

▼ 設計荷重

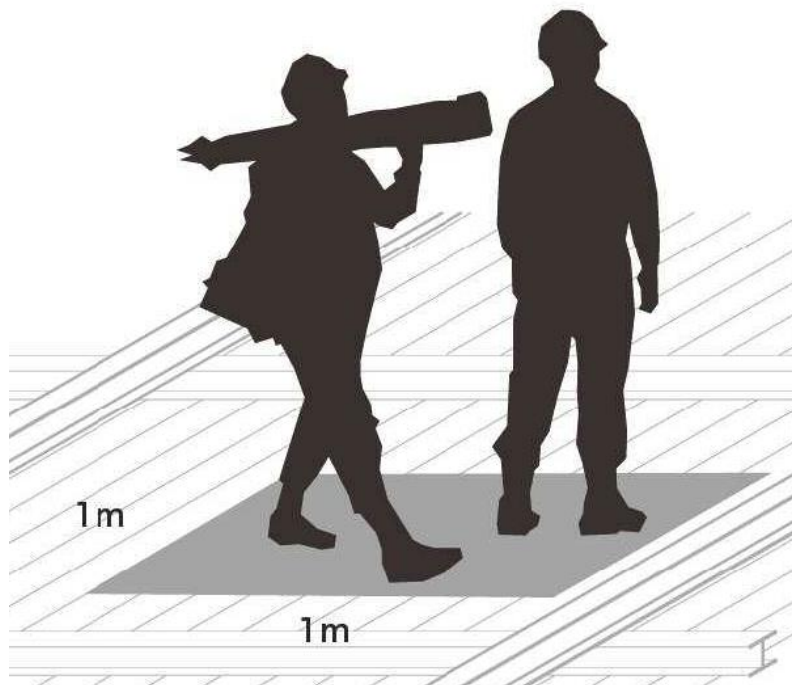
- ① 作業 荷重 ➡ 常時の主要荷重
- ② 風 荷重 ➡ 強風時の主要荷重
- ③ 地震 荷重 ➡ L2 地震時設計水平震度

多機能防食デッキの設計

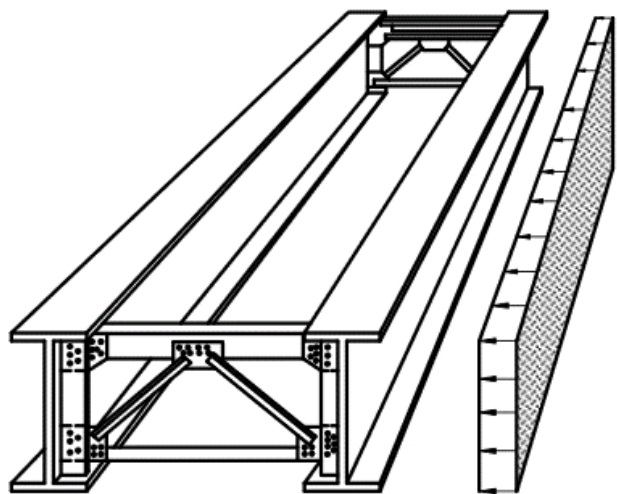
①作業荷重

パネル1m²あたり 2 人の作業員を想定

強度試験 によりパネル本体の **耐荷力性能** を確認



②風荷重



$$p = \frac{1}{2} \rho U_d^2 \times C$$

p : 設計風荷重(N/m²)

ρ : 空気密度1.23(kg/m³)

U_d : 設計基準風速(m/s²)

C : 風力係数

U_d : 設計基準風速(m/s²)

$$p = \frac{1}{2} \rho U_d^2 \times C$$

$$U_d = \alpha \times U_{10}$$

【補正係数: α 】

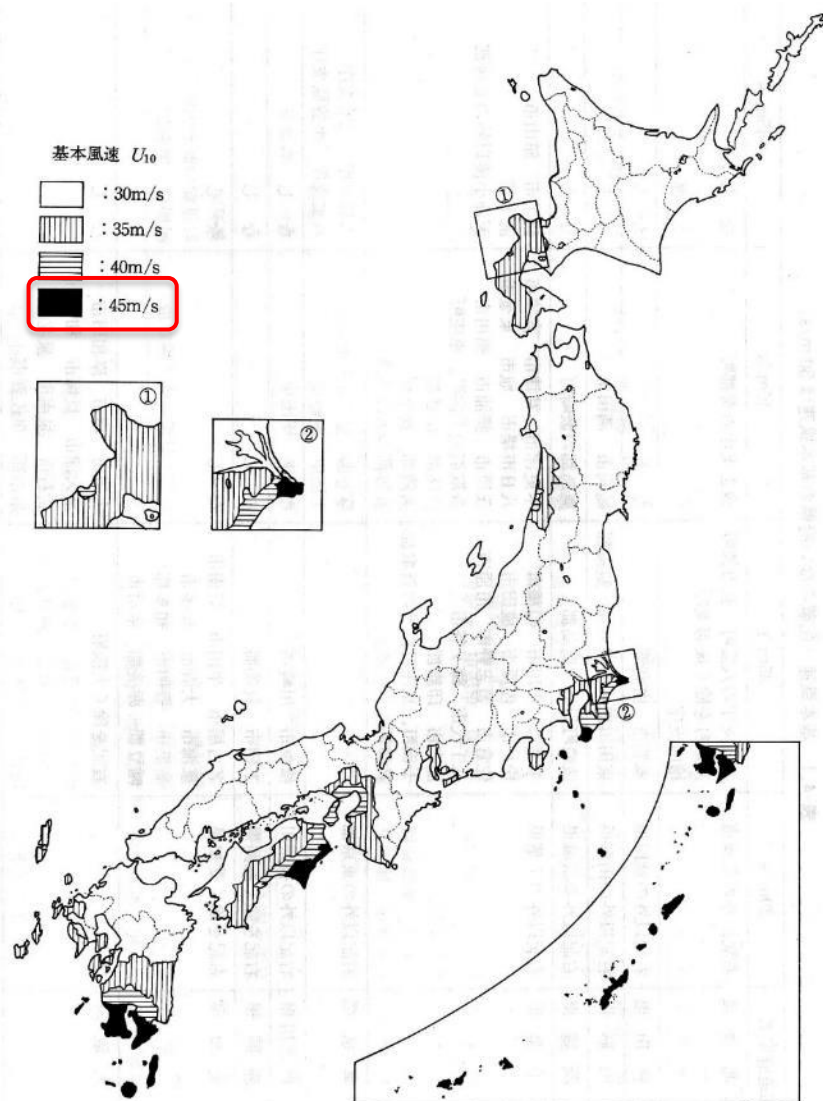
・高度と地表の粗さ(地表粗度)に対する係数

【基本風速: U_{10} 】

高度10mにおける10分間平均風速

- ・全国の過去年間最大風速データを統計処理
- ・その風速を50年間で超えない確率が
約60%以上となる風速
= 約100年に1回ふく風

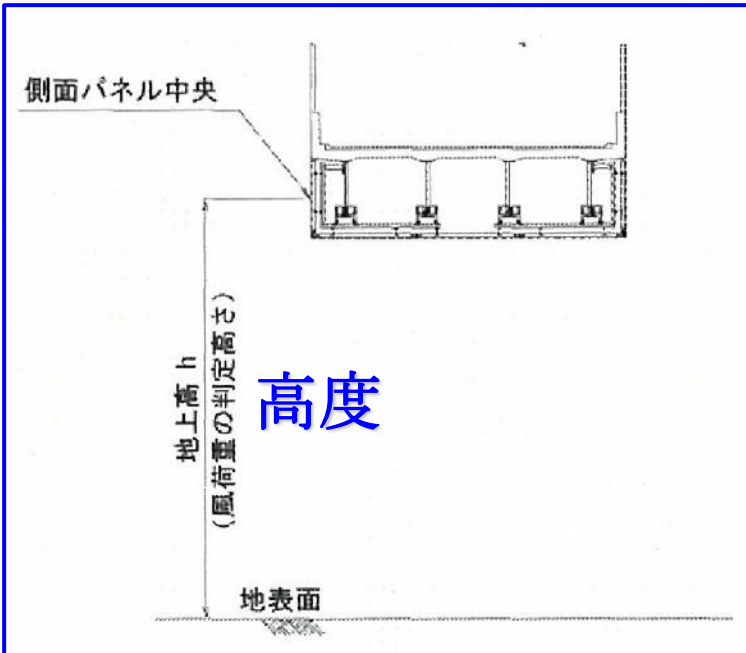
・沖縄 = 最高値の45m/s



【補正係数: α 】

$$U_d = \alpha \times U_{10}$$

・高度と地表の粗さ(地表粗度)に対する係数



地表粗度区分		0	I	II	III	IV
高度 (m)						
0< z ≤5	1.24	1.11	1.00	0.83	0.77	
5< z ≤10	1.29	1.16	1.00	0.83	0.77	
10< z ≤15	1.36	1.24	1.04	0.83	0.77	
15< z ≤20	1.41	1.29	1.09	0.85	0.77	
20< z ≤25	1.46	1.33	1.14	0.90	0.77	
25< z ≤30	1.49	1.36	1.18	0.94	0.77	
30< z ≤35	1.51	1.39	1.21	0.98	0.79	
35< z ≤40	1.53	1.41	1.24	1.01	0.82	
40< z ≤45	1.55	1.43	1.26	1.04	0.85	
45< z ≤50	1.56	1.45	1.28	1.07	0.88	
50< z ≤60	1.59	1.47	1.31	1.11	0.92	
60< z ≤70	1.62	1.50	1.35	1.15	0.96	
70< z ≤80	1.64	1.53	1.38	1.18	1.00	
80< z ≤90	1.66	1.55	1.41	1.22	1.04	
90< z ≤100	1.68	1.57	1.43	1.25	1.08	
100< z ≤110	1.69	1.59	1.46	1.27	1.11	
110< z ≤120	1.71	1.61	1.48	1.30	1.14	
120< z ≤130	1.72	1.62	1.50	1.32	1.16	
130< z ≤140	1.73	1.64	1.52	1.35	1.19	
140< z ≤150	1.75	1.65	1.53	1.37	1.22	
150< z ≤160	1.76	1.67	1.55	1.39	1.24	
160< z ≤170	1.77	1.68	1.57	1.41	1.26	
170< z ≤180	1.78	1.69	1.58	1.43	1.28	
180< z ≤190	1.79	1.70	1.60	1.44	1.31	
190< z ≤200	1.80	1.71	1.61	1.46	1.33	

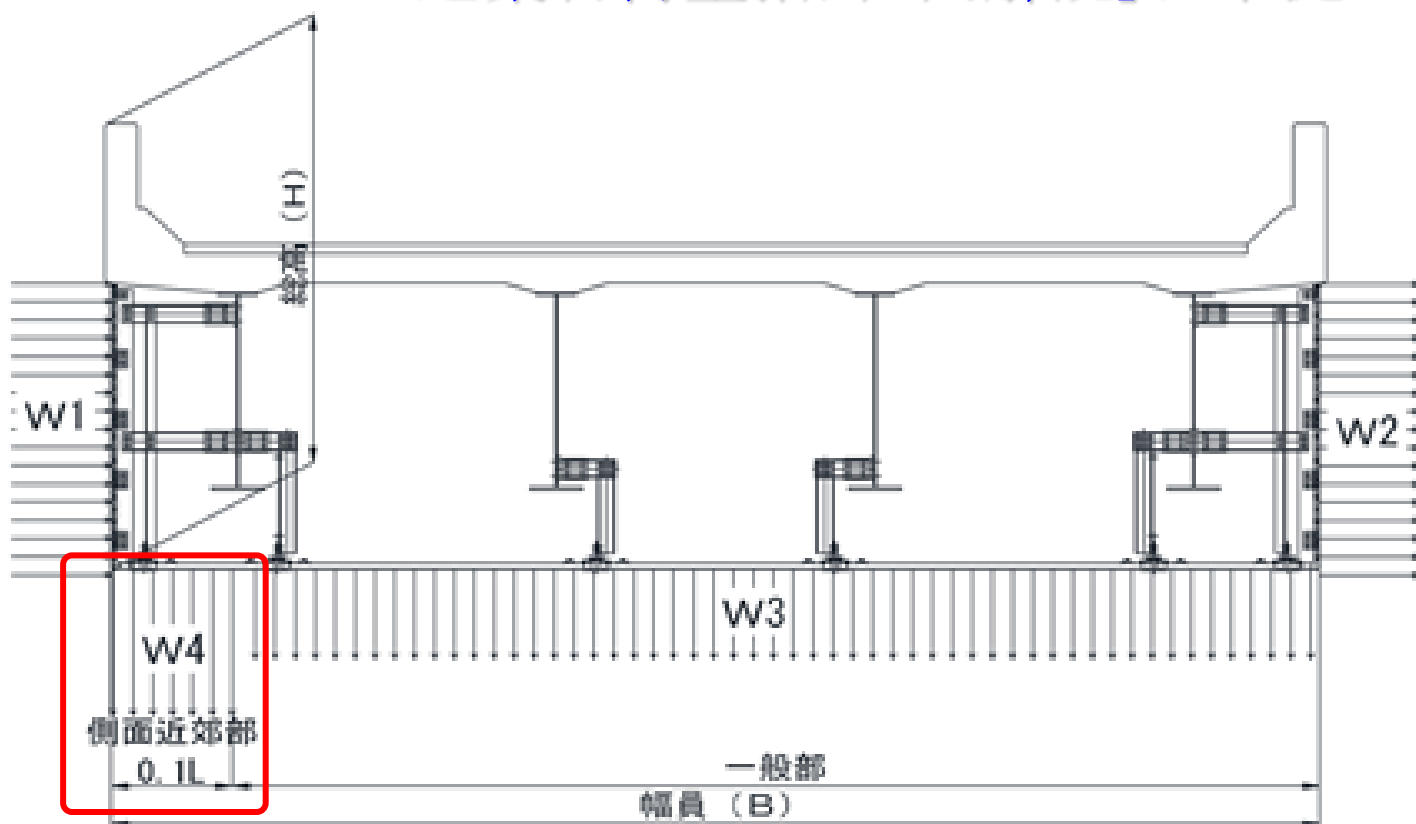
C : 風力係数

$$p = \frac{1}{2} \rho U_d^2 \times \boxed{C}$$

- ・構造物の形状や風が作用する箇所によって異なる係数
- ・多機能防食デッキ = 建築物の外装材と形状が類似
「建築物荷重指針・同解説」に準拠

風上側
側面近郊部

▽
負圧:大



沖縄における多機能防食デッキの耐風検討

基本風速(U_{10})が45m/sの**高風速地域** / 巨大化する**台風の影響**



強風による多機能防食デッキの**損傷性状の把握・対策検討**



久米島空港 連絡橋 化粧板 損傷状況 (2016年台風18号)

実物大多機能防食デッキを用いた風圧性状計測