

UFC道路橋床版研究会

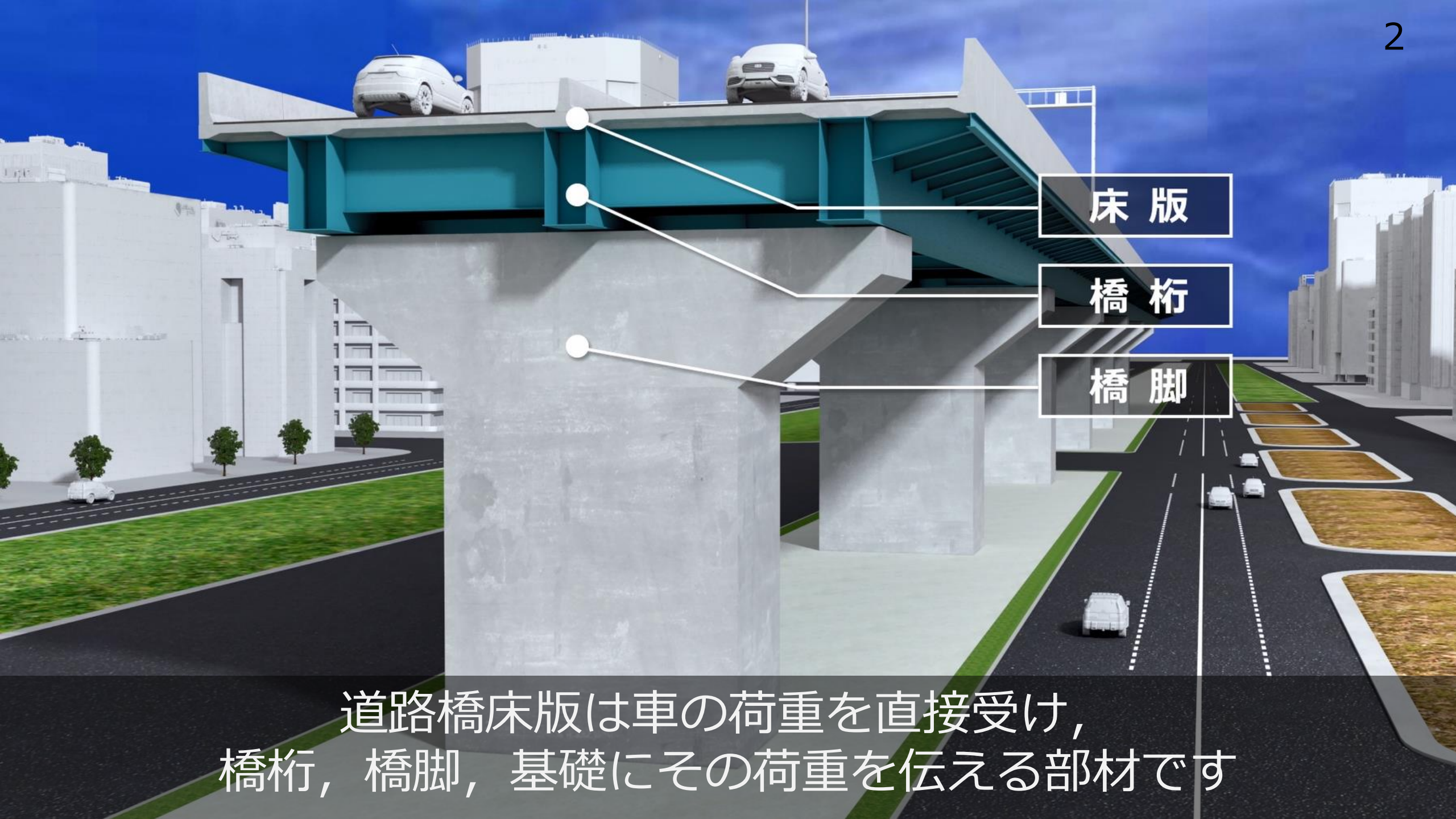
技術セミナー2023

2023/1/26

UFC床版の総論

技術委員会 事務局・運営部会主査

小坂 崇（阪神高速道路(株)）



床版

橋桁

橋脚

道路橋床版は車の荷重を直接受け、
橋桁、橋脚、基礎にその荷重を伝える部材です



床版は車両の荷重を繰り返し受ける間に
疲労によって劣化が生じます

なかでも大型車の通行が多い橋では、
疲労による床版の変状が早く進行します

コンクリート床版上面の剥離

一方で、疲労による床版の劣化をなくすため
新たな方向から研究開発を進めてきました

5



コンクリート床版の土砂化

優れた材料と高い技術で社会のニーズに応える

UFC床版

それが、超高強度繊維補強コンクリートUFCを用いた
軽量かつ耐久性の高いUFC床版です

項 目	単 位	UFC	従来コンクリート
圧縮強度の特性値	N/mm ²	180	21～50
引張強度の特性値	N/mm ²	8.8	1.7～3.1
ヤング係数	N/mm ²	46,000	24,000～33,000
水結合材比	—	0.15	0.3～0.6
透気係数	m ²	4.5×10 ⁻²⁰ 以下	1×10 ⁻¹⁷ ～1×10 ⁻¹⁵
透水係数	cm/s	4.0×10 ⁻¹⁷	1×10 ⁻¹¹ ～1×10 ⁻¹⁰
塩化物イオン拡散係数	cm ² /年	0.0018	0.14～0.9
設計収縮ひずみ※1	—	50 μ (熱養生後)	180 μ 程度
クリープ係数	—	0.7	2.0～2.2程度

UFCは、強度やヤング係数が従来のコンクリートより大きく、透水係数、収縮ひずみ、クリープ係数が小さいことが特徴です

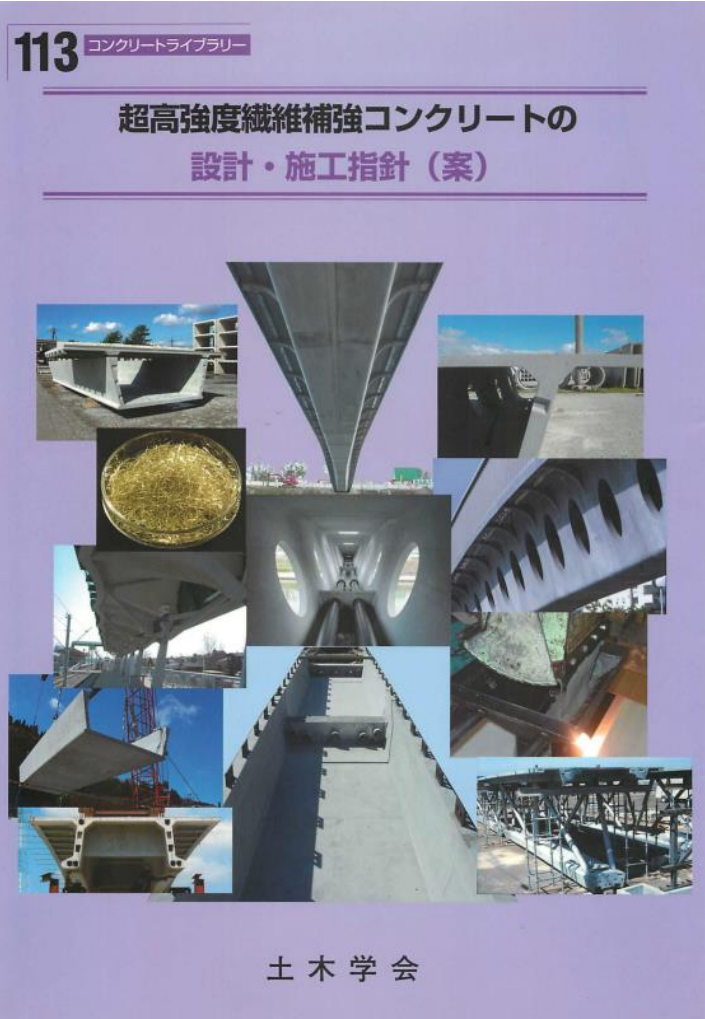


(a) 硬化前



(b) 硬化後

硬化前のUFCは自己充填による流し込み成形を標準としています
モルタルフローは230～270mmと流動性の高い材料です

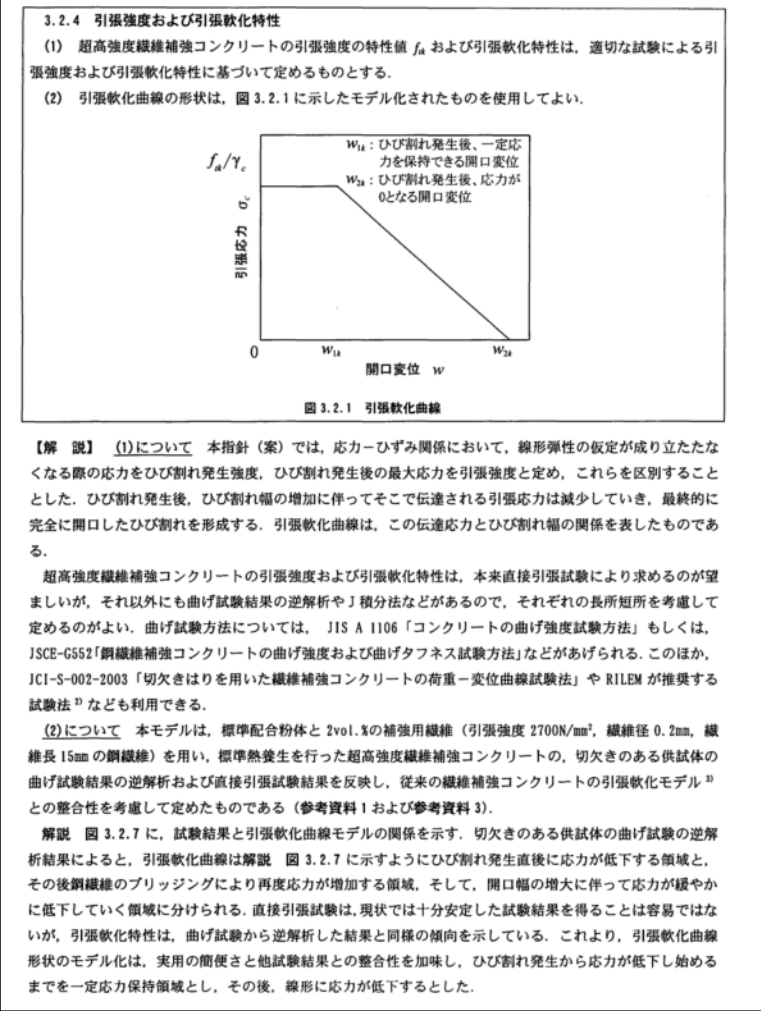


コンクリートライブラリー113
超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)

目次

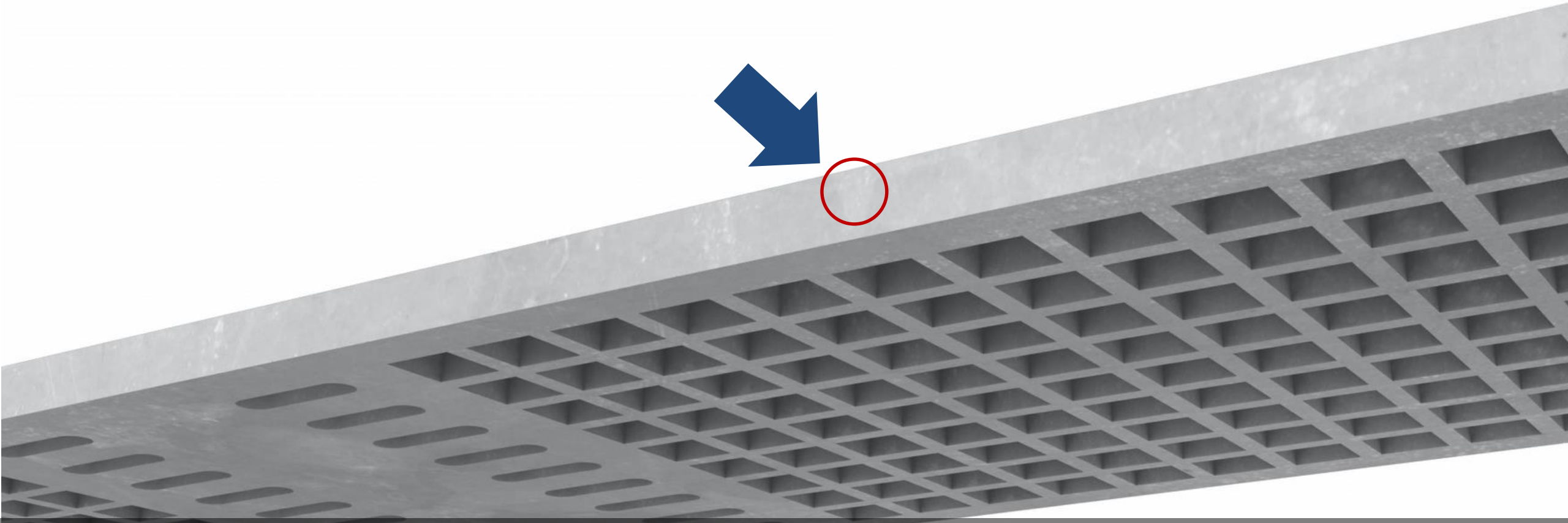
超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)	
1章 総則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の定義	2
1.3 記号	2
2章 設計の基本	4
2.1 一般	4
2.2 設計耐用期間	4
2.3 性能照査の原則	5
2.4 安全係数	6
3章 材料の設計値	7
3.1 一般	7
3.2 強度	7
3.2.1 特性値	7
3.2.2 圧縮強度	9
3.2.3 ひび割れ発生強度	11
3.2.4 引張強度および引張軟化特性	13
3.2.5 その他の強度	15
3.3 応力-ひずみ曲線	16
3.3.1 圧縮応力-ひずみ曲線	16
3.3.2 引張応力-ひずみ曲線	18
3.4 ヤング係数	19
3.5 ポアソン比	20
3.6 熱特性	20
3.7 収縮	20
3.8 クリープ	21
3.9 疲労強度	22
4章 荷重	25
4.1 一般	25
5章 構造解析	26
5.1 一般	26
5.2 終局限界状態を検討するための応答値の算定	26

(1)



2004年に土木学会から設計・施工指針(案)が発刊されています
UFC床版は指針(案)に準拠した設計・施工としています

Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete
超高強度繊維補強コンクリート



UFCはセメント，細骨材，水，
シリカヒュームなどからなる高強度混和材で構成されています

Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete
超高強度繊維補強コンクリート

セメント

シリカフューム

セメント

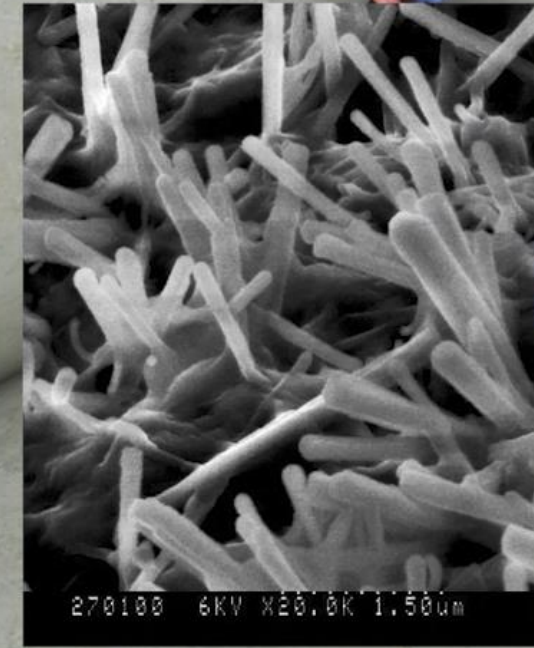
セメント

UFCの硬化時にセメント粒子間に
微細なシリカヒュームが充填します

Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete
超高強度繊維補強コンクリート

セメント

シリカフューム



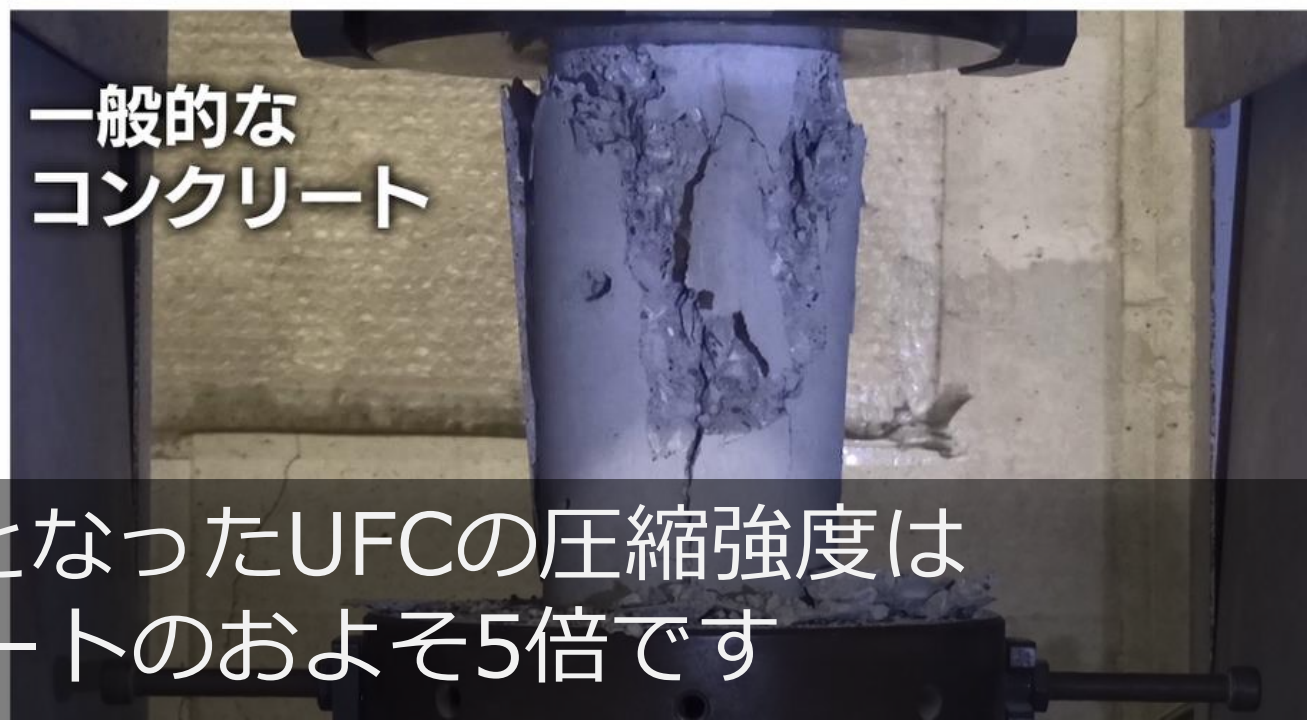
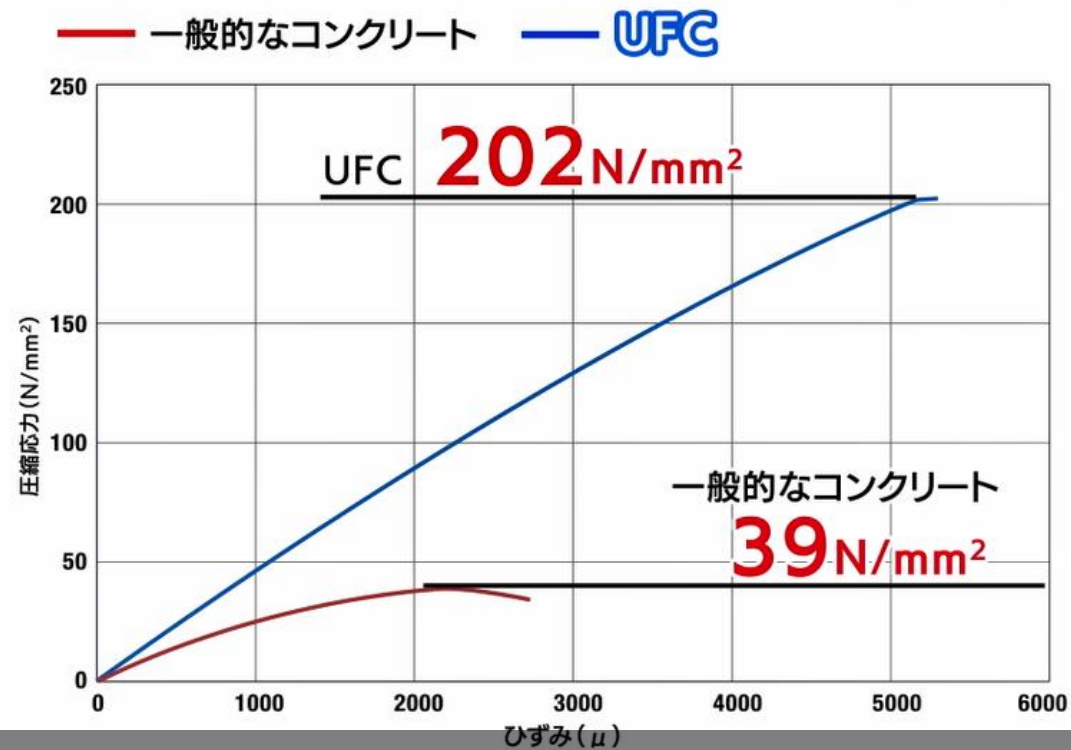
エトリンガイト

セメント

セメント

さらに、セメントの水和反応による生成物が
残ったわずかな隙間を充填し、緻密なセメント硬化体となります

圧縮強度試験

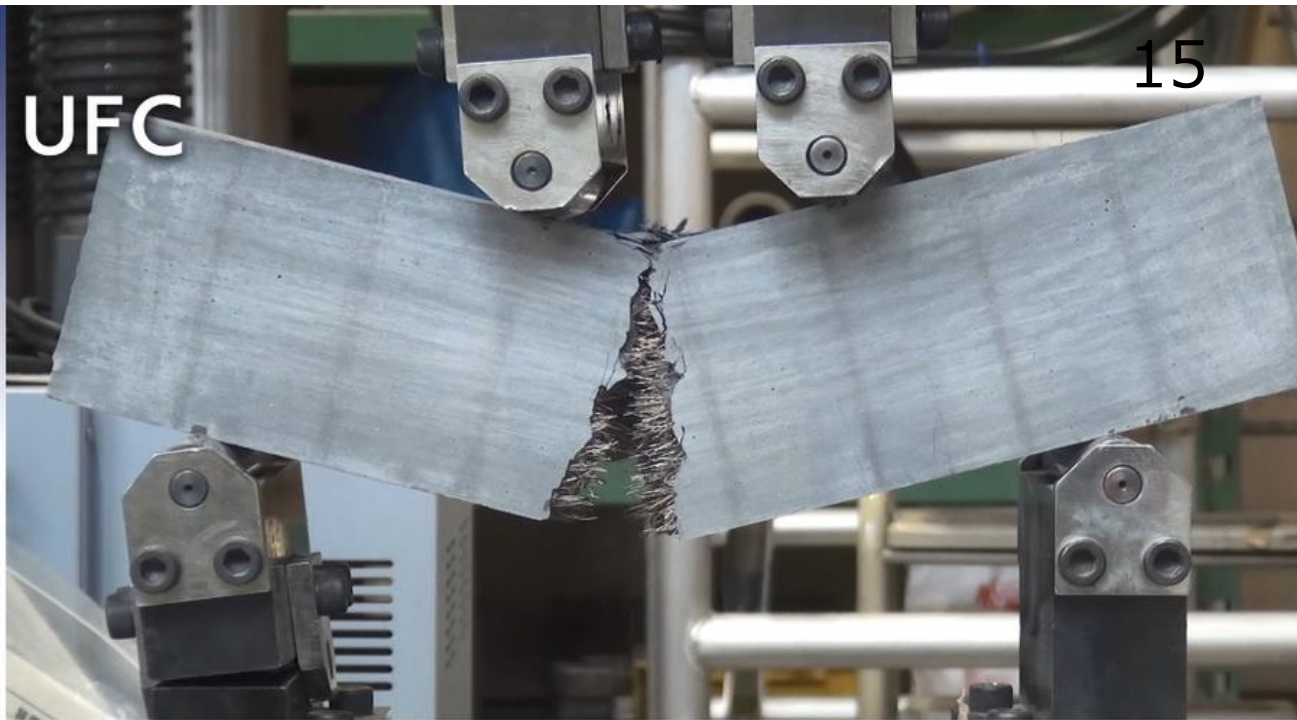
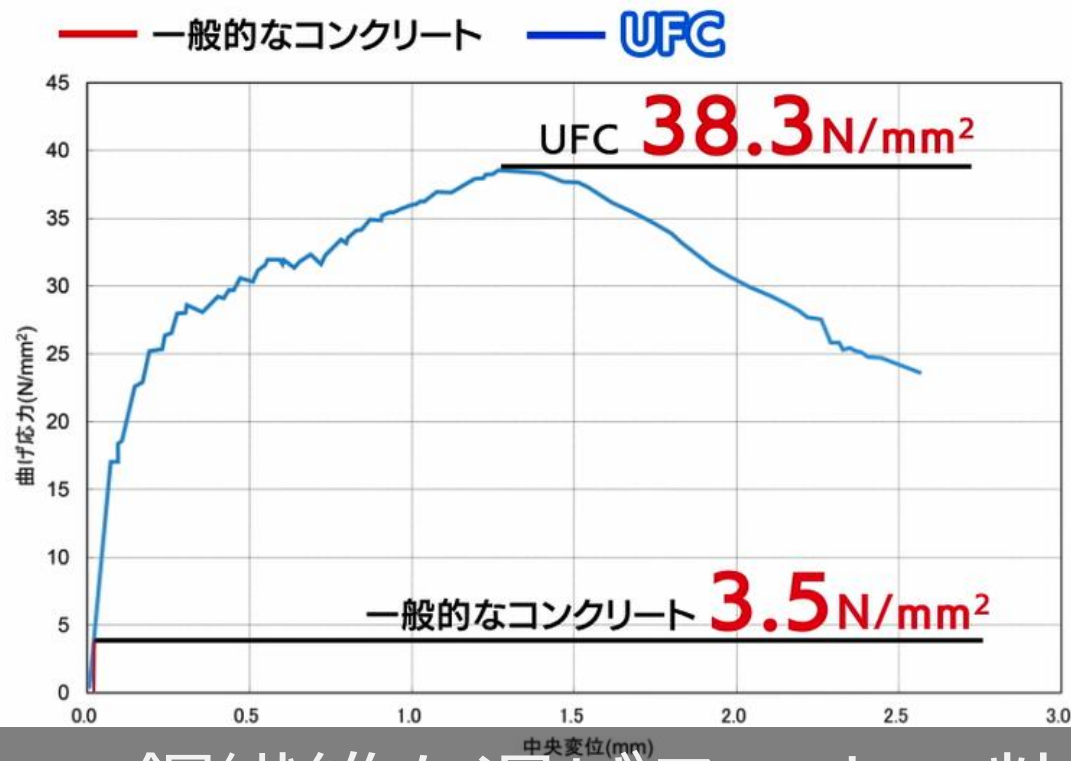


緻密なセメント硬化体となったUFCの圧縮強度は
一般的なコンクリートのおよそ5倍です



UFCには直径が0.2mmの鋼繊維が混ぜ込まれています
鋼繊維の引張強度は鉄筋のおよそ6倍です

曲げ強度試験



鋼繊維を混ぜることで粘り強さが大幅に高まります
UFCの曲げ強度は、一般的なコンクリートのおよそ10倍です

国内外における UFCの活用



カナダ・シャープブルックの歩道橋 (1997)



酒田みらい橋 (2002)



羽田国際空港 滑走路着陸帯部(2010)
(出典:サクセム研究会)



米国・リトルシダー川橋 (2011)
(撮影提供: 齋藤公生氏)



床版の上面増し厚補強
(B. Graybeal et al.: International Perspective on UHPC in Bridge Engineering, 2020)



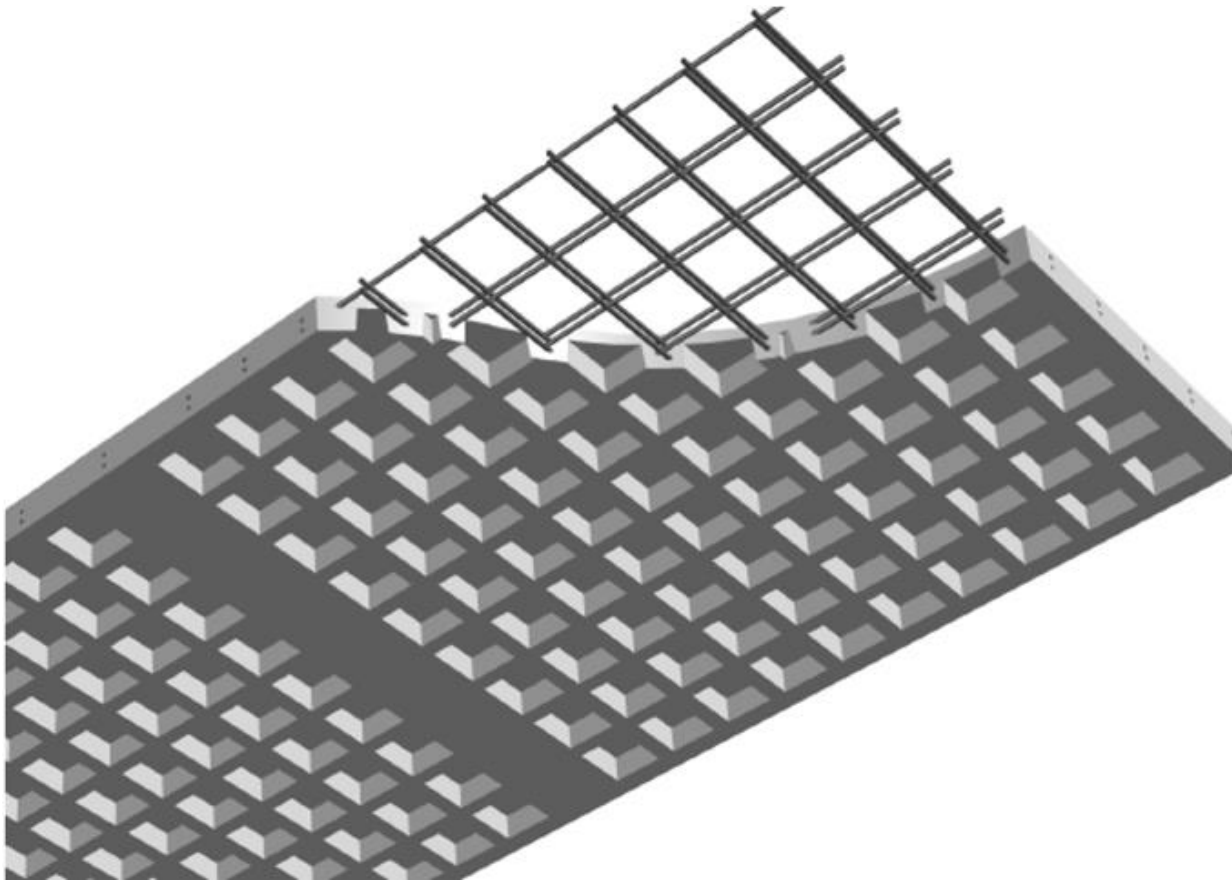
UHPCリンクスラブ(2016)

このような特徴のあるUFCが国内外で活用されています

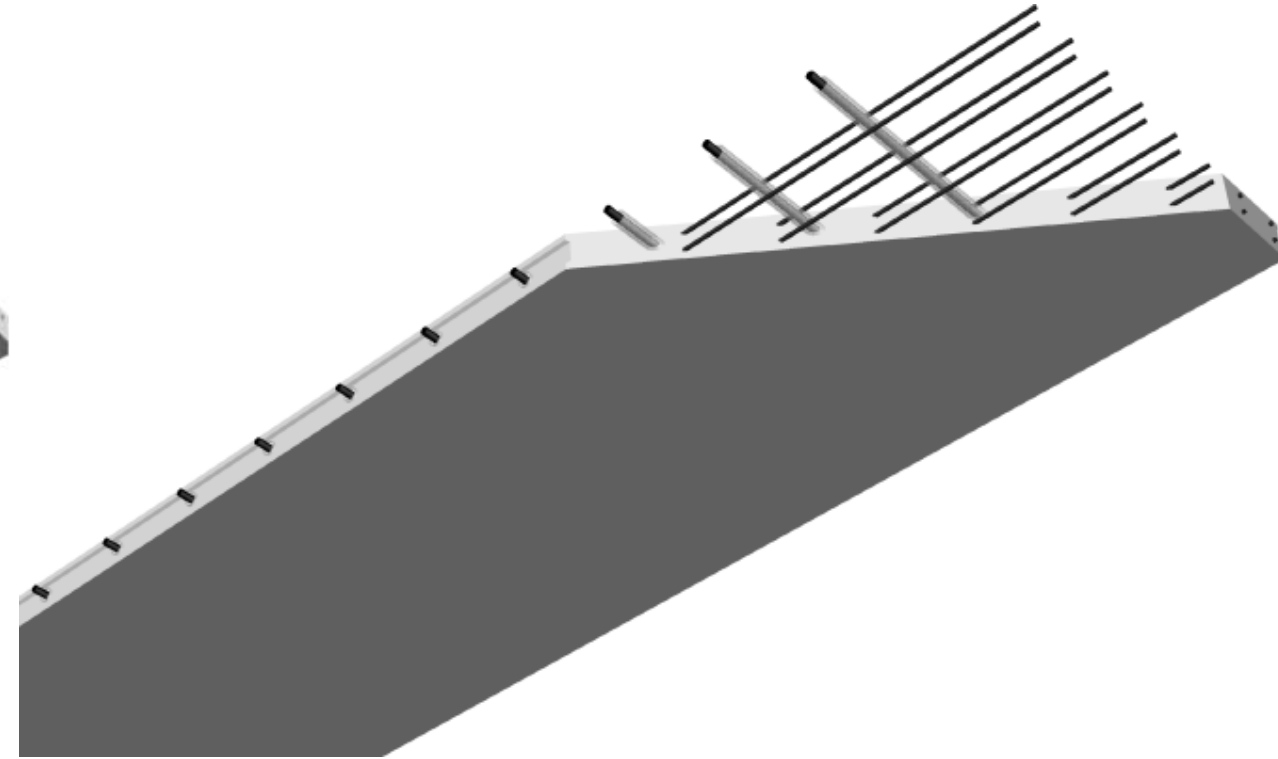
国内外のUFCを用いた 床版の比較

	UFCを用いた床版に関する既往研究, 構造				ワッフル型 UFC床版
	羽田D滑走路 UFC床版	RPC系 UFC床版	FHWA(米) UHPC床版	MIKTI(仏) UHPFRC床版	
床版厚	250mm	140～225mm	204mm	380mm	123～150mm
床版支間長	3.75m	3.1m	2.2m	6.5m	2.5m
床版支間方向	—	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸方向
支持辺	4辺支持	2辺支持	2辺支持	2辺支持	4辺支持
プレストレス	2方向	2方向	—(RC)	2方向	2方向
最大リブ間隔	400mm	675mm	914mm	600mm	250mm
質量(概算)	0.34 t/m ²	0.32 t/m ²	0.60 t/m ²	0.40 t/m ²	0.18 t/m ²
開発段階	2010年施工	研究段階	2011年施工	研究段階	2019年施工

国内外でUFCを使った床版も開発されています
それぞれの床版は厚さや支持する構造が異なります



ワッフル型UFC床版



平板型UFC床版

本研究会のUFC床版には大きく2種類のタイプがあります
超軽量なワッフル型と，軽量な平板型です

ワッフル型UFC床版の構造

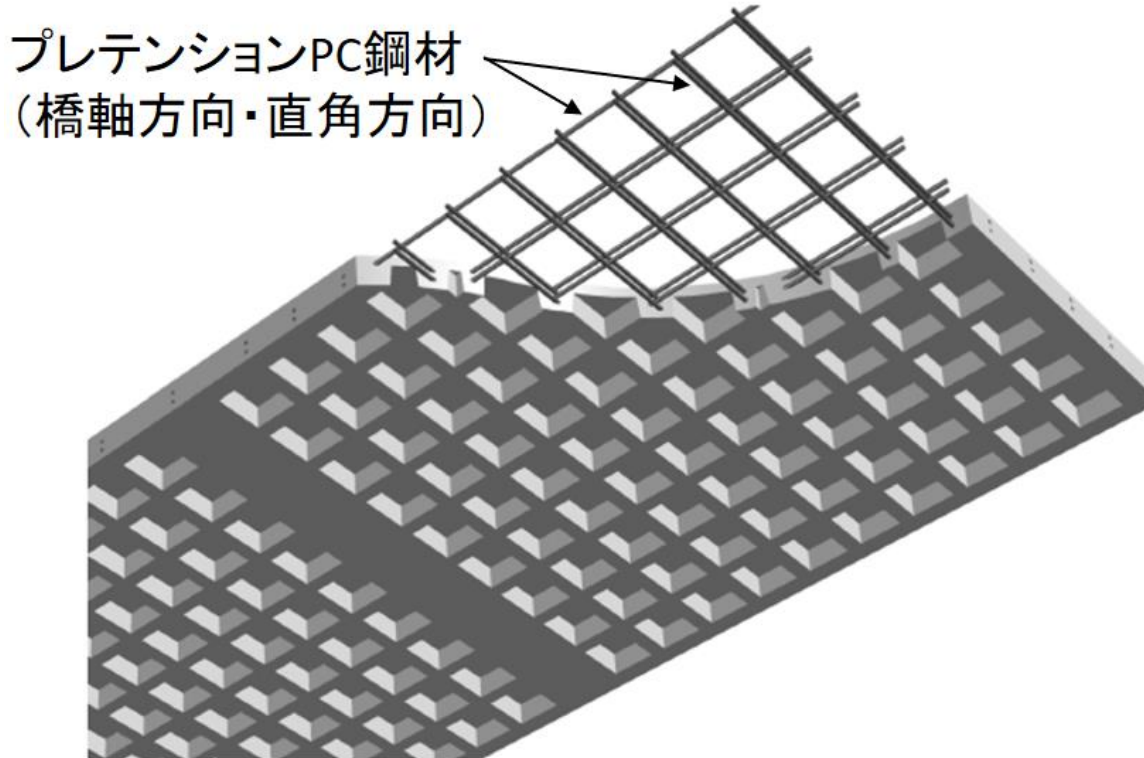


図 ワッフル型UFC床版

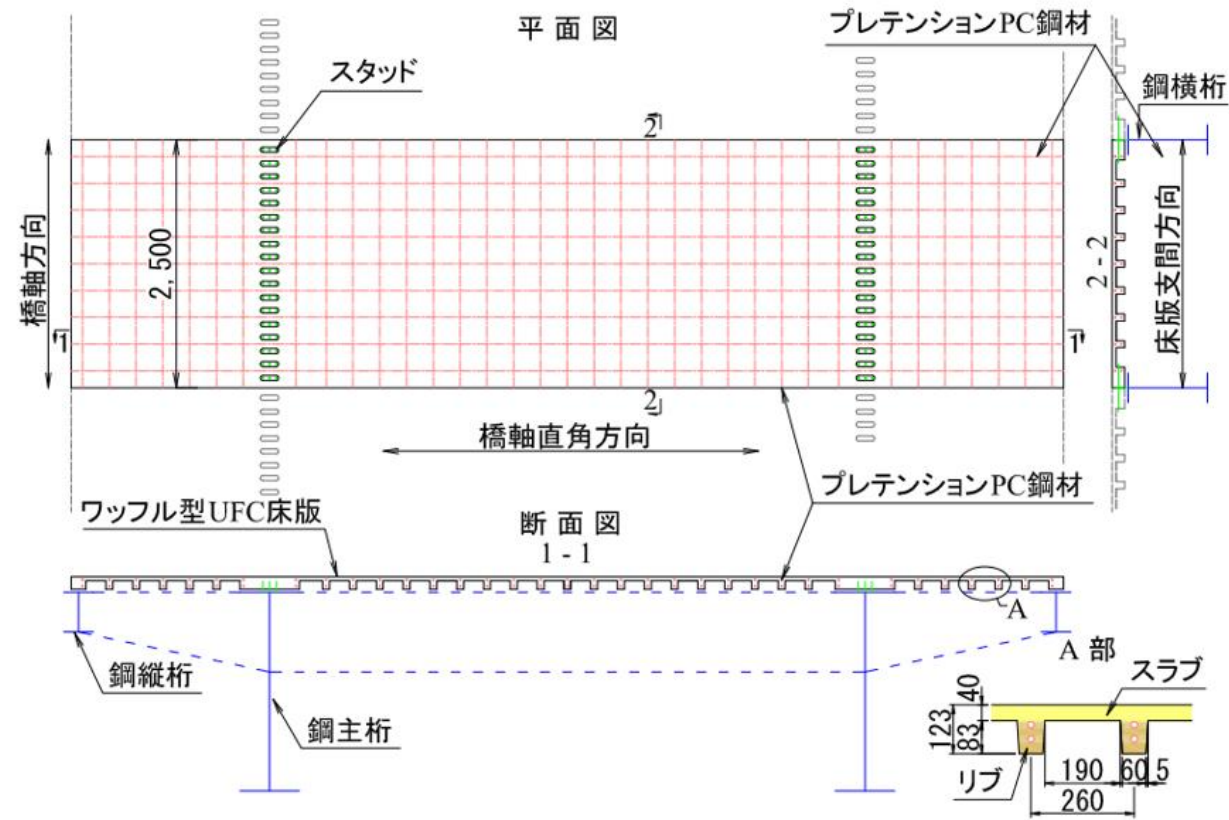


図 ワッフル型UFC床版の構造

ワッフル型は2方向のリブにPC鋼材を配置したPC床版です
UFCの強度の高さを活用し、部材厚を小さくすることで
軽量化とプレストレスの導入効率を高めています

ワッフル型UFC床版の 接合部

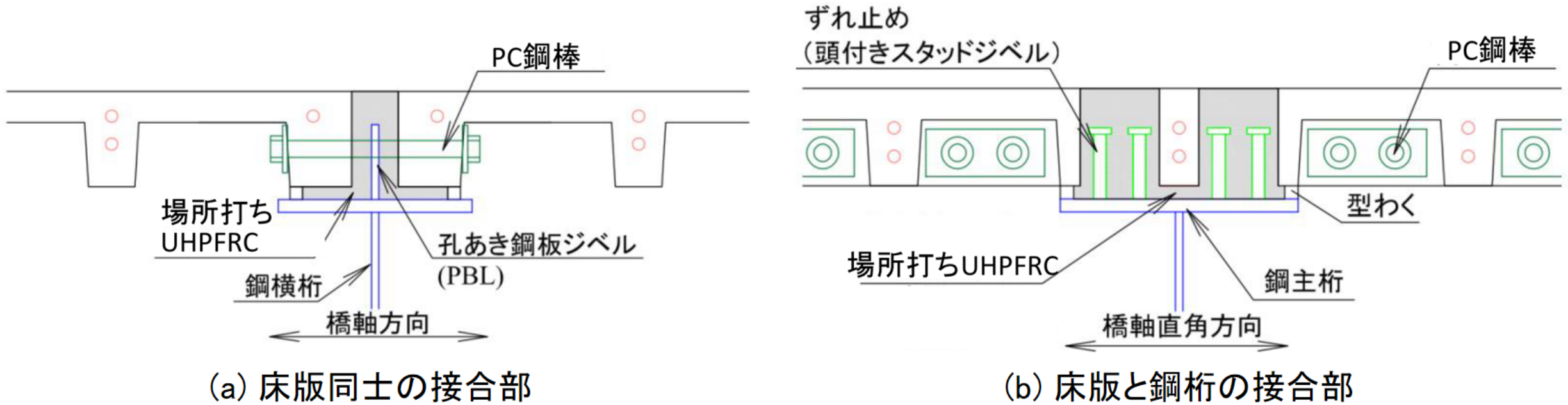


図 接合部の構造

ワッフル型床版の床版同士はPC鋼棒によって一体化します
間詰め部には、場所打ちUHPFRCを充填します
床版と鋼桁は頭付きスタッドを介して接合します

鋼桁および鋼床組みに支持された UFC床版合成桁

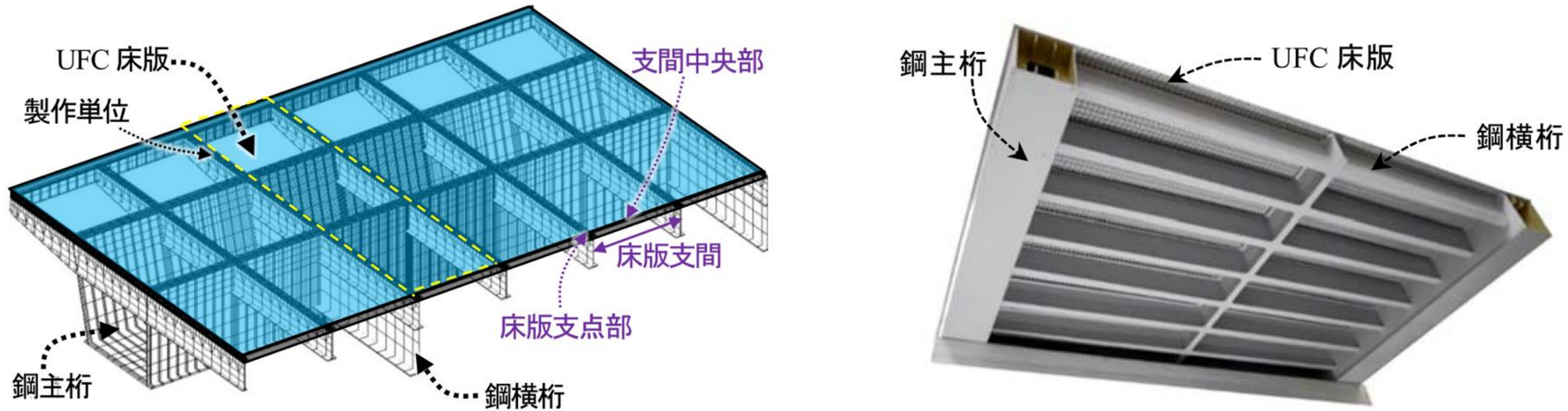
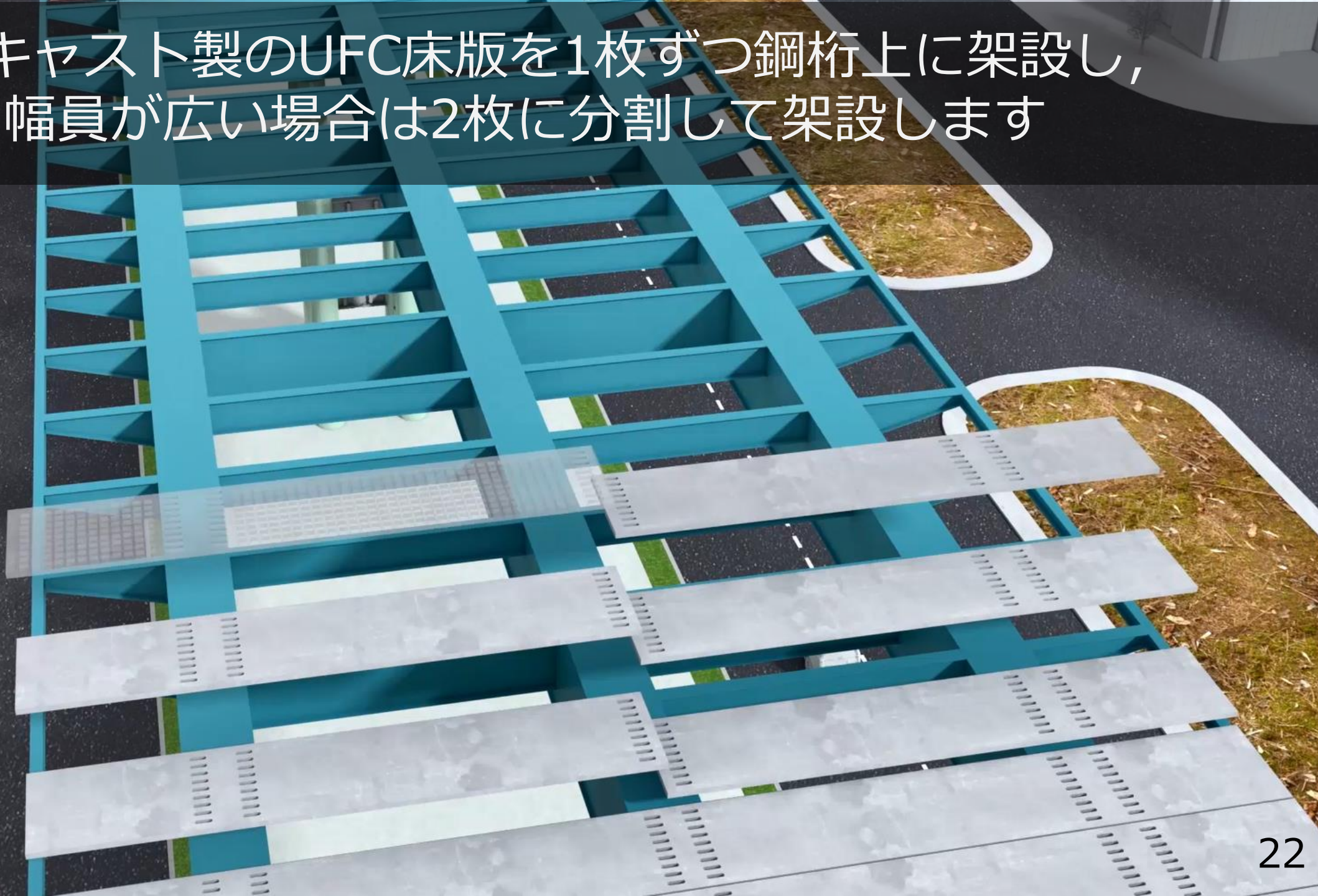
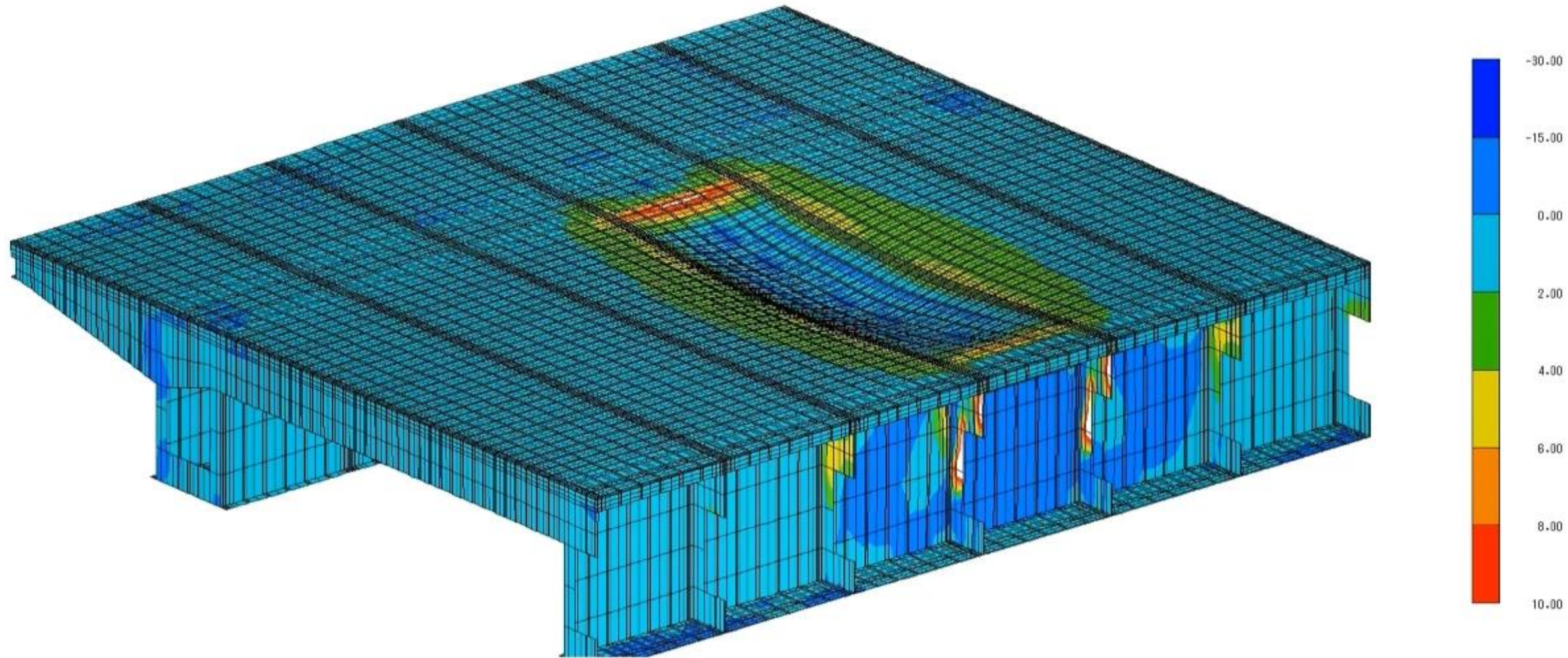


図 ワッフル型UFC床版と鋼桁による合成桁

UFC床版は、鋼桁と接合し合成桁となります
ワッフル型UFC床版は、主桁、横桁で4辺支持される床版です

プレキャスト製のUFC床版を1枚ずつ鋼桁上に架設し、
幅員が広い場合は2枚に分割して架設します





FEM解析

床版は鋼桁や鋼横リブで4辺に支持されており
床版に生じる曲げも2方向となります

UFC 床版の設計・製作・施工・維持管理マニュアル（案）

2020 年 2 月

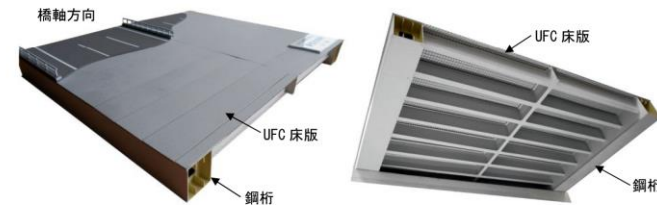
UFC 道路橋床版研究会

2.4 上部構造の計画

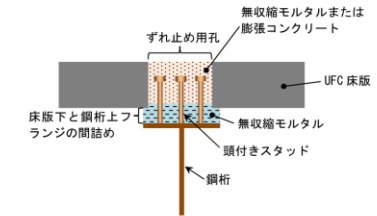
- (1) 手引きで対象とする上部構造形式は、UFC 床版と鋼箱桁または鋼板桁による合成桁を基本とする。
- (2) UFC 床版を適用する橋梁は、新設橋または床版取替えを行う既設橋とする。
- (3) UFC 床版と組み合わせる鋼主桁の計画にあたって次の 1)～4) に留意しなければならない。
 - 1) 鋼横リブによる床版の支持間隔
UFC 床版はプレキャスト床版が基本であるため、鋼横リブで支持する場合は、プレキャスト床版の製作可能な寸法に配慮して鋼横リブの間隔を計画する必要がある。なお、従来の鋼床版と同様 2～3m 程度の横リブ間隔であれば UFC 床版の製作は可能である。製作する工場から架設する現場までのルートを踏まえ、輸送可能な幅に設定しなければならない。
 - 2) 鋼主桁の上フランジの板厚変化
鋼主桁上フランジの板厚変化は、UFC 床版との取合いを考慮してウェブ側（下逃げ）を原則とする。
 - 3) 鋼主桁上フランジの継手部の構造
鋼主桁上フランジの継手部の構造は、溶接継手が望ましい。高力ボルト継手を採用する場合は、接合部のずれ止め（頭付きスタッド）の配置等 UFC 床版との干渉に留意した構造としなければならない。
 - 4) 鋼主桁上フランジのずれ止め
鋼主桁上フランジに配置されるずれ止め（頭付きスタッド）は、配置可能本数を計画段階に確認し、設計にあたっては UFC 床版のずれ止め用孔との取合いを確認し、PC 鋼材と干渉しない位置とすることがある。

【解説】

- (1) UFC 床版を有する上部構造は、合成桁、非合成桁のいずれでも成立するが、UFC 床版を有する上部構造の性能を十分に活用するために合成桁を基本とした。図一解 2.5 にワッフル型 UFC 床版と鋼箱桁による合成桁、図一解 2.6 に平板型 UFC 床版と鋼板桁による合成桁を示す。



図一解 2.5 ワッフル型 UFC 床版と鋼箱桁による合成桁



図一解 3.4 床版下面と鋼上フランジの間詰めおよびずれ止め用孔

- (2) UFC 床版下面と鋼上フランジの間詰めは、間詰め部にひび割れが生じた際に剥落を防止するために繊維を混入した無収縮モルタルを充填することとした。
- (3) UFC 床版における既往の押抜き試験では、60N/mm² 以上の圧縮強度を有する無収縮モルタルによる場合の試験を実施している。

3.3.3 PC 鋼材

- (1) PC 鋼材は、道示 I 3.1 によるものとする。
- (2) 高強度 PC 鋼材は、高強度 PC 指針によるものとする。

【解説】

- (2) UFC の圧縮強度を有効に活用するには、少ない鋼材量で大きなプレストレスを導入できる高強度 PC 鋼材の使用が効果的である。そこで、UFC 床版にプレテンション方式でプレストレスを導入する場合に高強度 PC 鋼材が使用される場合がある。このとき、高強度 PC 鋼材は道示 I に規定されていないため、高強度 PC 指針によることとした。

3.3.4 高力ボルト

- (1) 高力ボルトは、道示 I 3.1 によるものとする。
- (2) 高強度の高力ボルトを使用する場合は、使用する製品の規定によるものとする。ただし、強度や耐久性について検証されたものであることを確認した上で使用しなければならない。

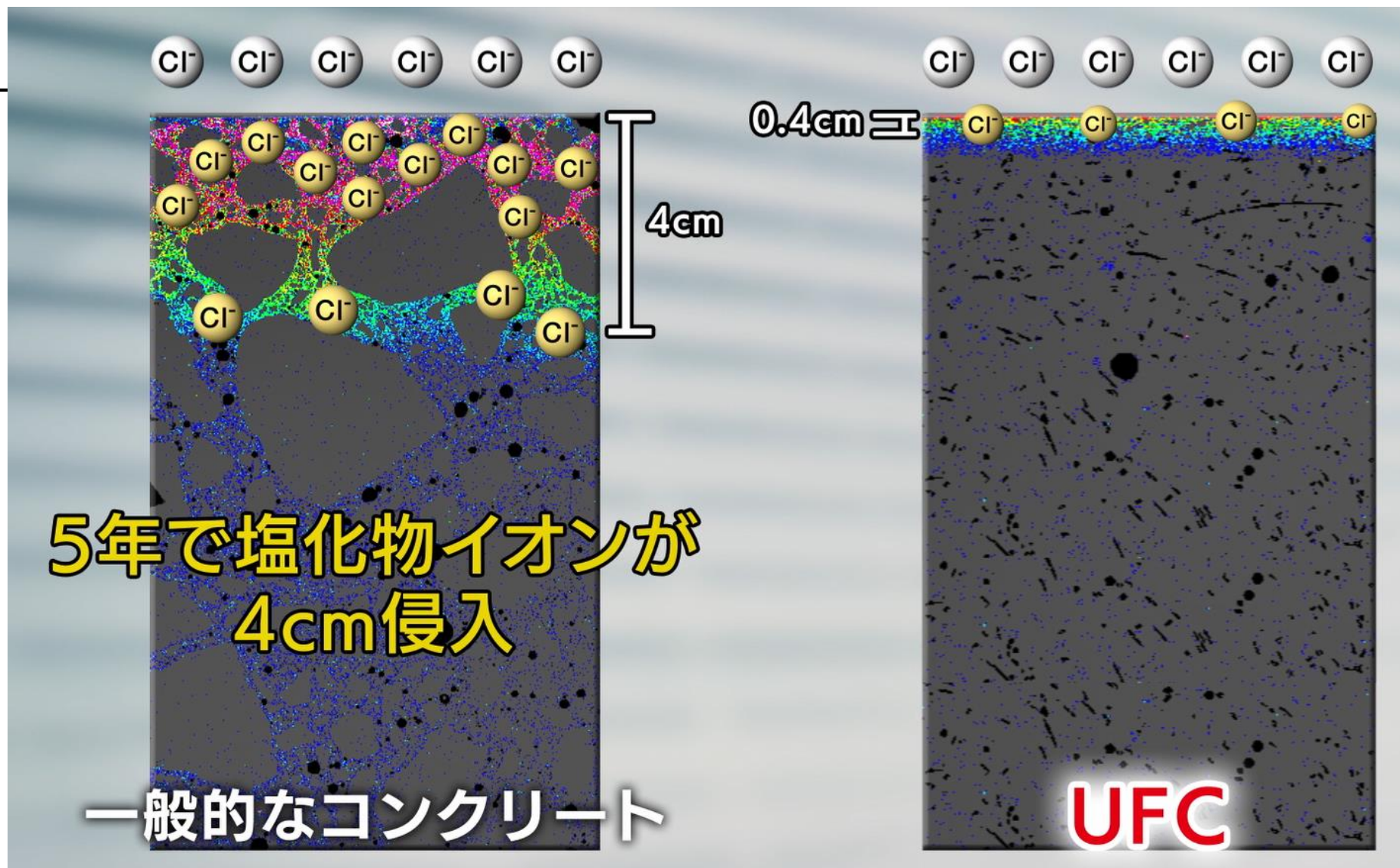
【解説】

- (2) 道示 I 3.1 に規定されていない高強度の高力ボルトを使用する場合は、材料メーカーの指針等によるが、強度や耐久性について検証されたものであることを確認した上で使用することとした。

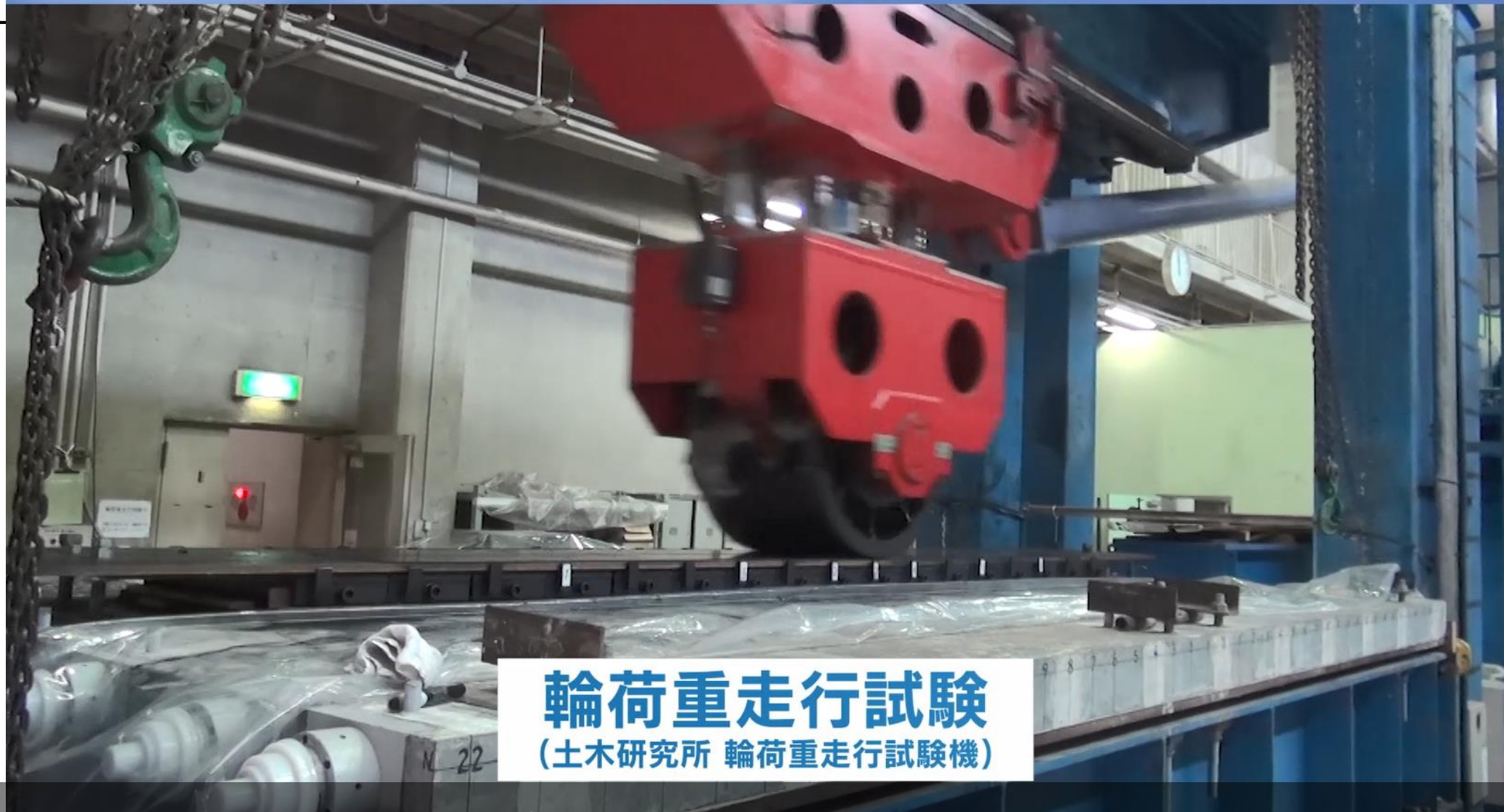
「UFC床版の設計・製作・施工・維持管理マニュアル(案)」を
2017年6月にリリースしています（会員特典）

UFC床版の 特 長

- ① 高耐久化による安心と快適
- ② 軽量化による環境負荷の低減
- ③ プレキャスト化による生産性向上
- ④ 新たな橋梁景観の創出

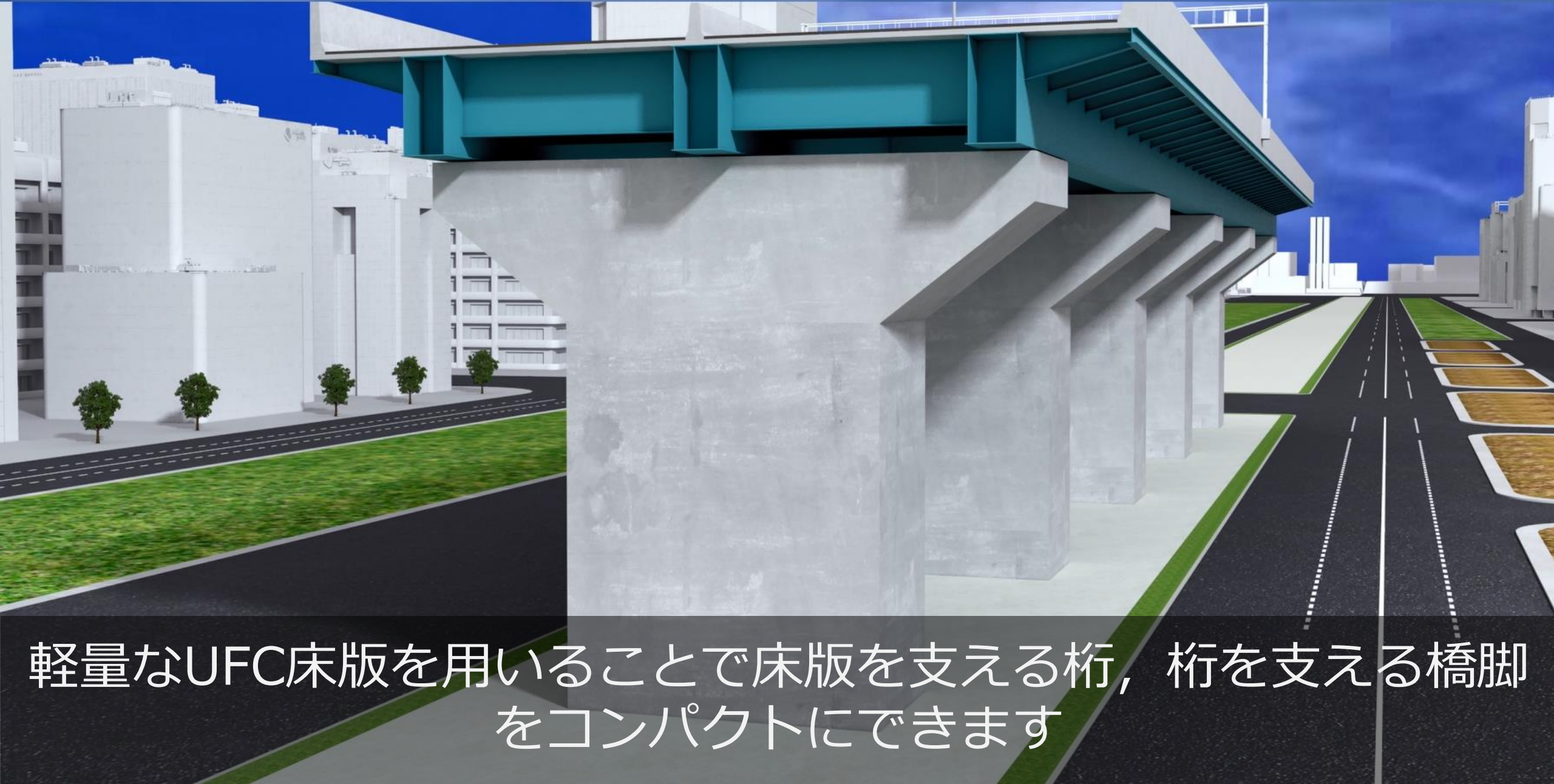


UFCは従来のコンクリートにくらべて、緻密な材料で塩化物イオンなどが浸透しにくいため塩害などの変状の心配がありません



UFC床版は疲労耐久性が高いため、疲労による劣化の進行が遅く
補修，補強回数が減り，安心で快適な社会を実現します

UFC床版の特長 ②軽量化による環境負荷の低減



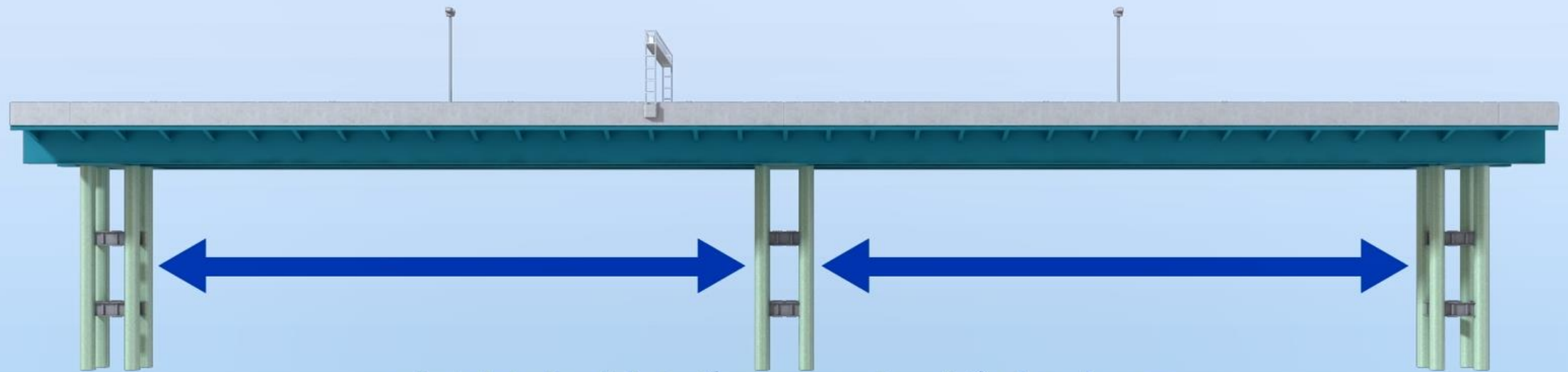
軽量なUFC床版を用いることで床版を支える桁、桁を支える橋脚をコンパクトにできます

UFC床版の特長 ②軽量化による環境負荷の低減



橋桁・橋脚・基礎をコンパクトにすることが可能

UFC床版の特長 ②軽量化による環境負荷の低減



支間を伸ばすことができる

橋脚・基礎の数を減らすことができる

UFC床版の特長 ②軽量化による環境負荷の低減

建設で消費する天然資源の削減



地球環境への負荷を低減

床版 質量 の比較

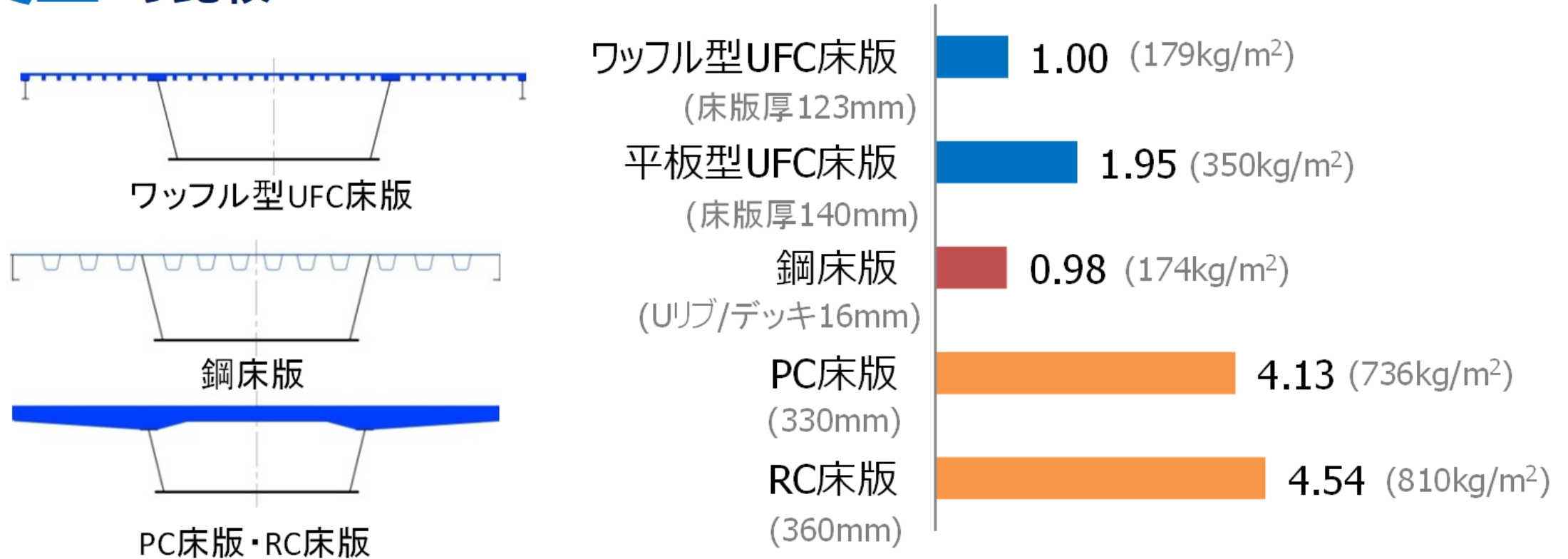


図 床版質量の比較

それぞれの橋梁に応じて床版厚を設定する必要があるため、
床版質量はその都度変化することに注意が必要です

UFC床版の特長 ③プレキャスト化による生産性向上



UFC床版は工場で製作するプレキャスト製品です
高品質な製品として効率よく安定して生産できます

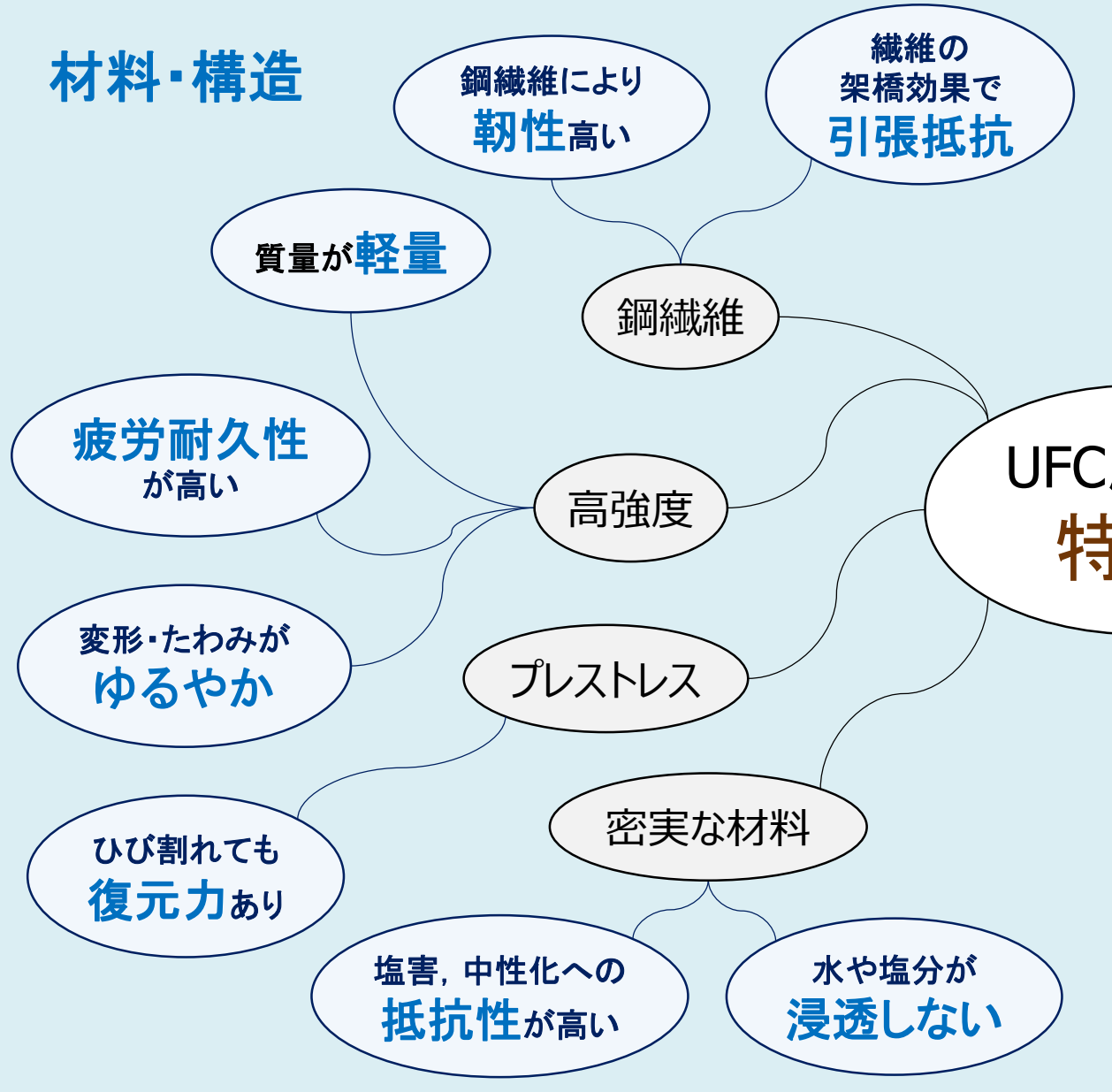


また、現場の機械化も進み、
生産性が向上し日本が抱える労働者不足の問題にこたえます

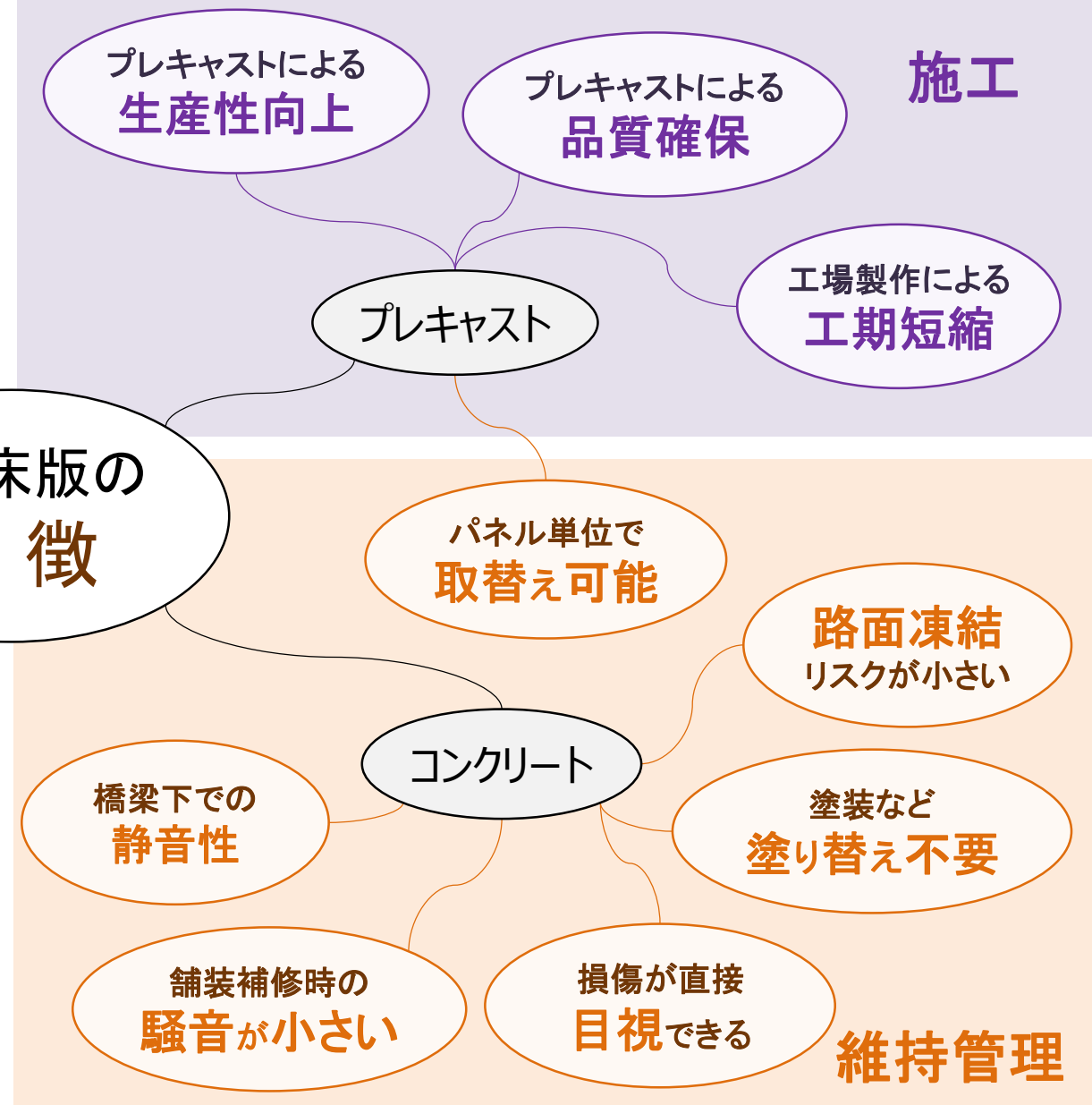
UFC床版の特長 ④新たな橋梁景観の創出

表面にある無数の凹凸による陰影が見上げる人に柔らかな優しい印象をあたえます

材料・構造



施工



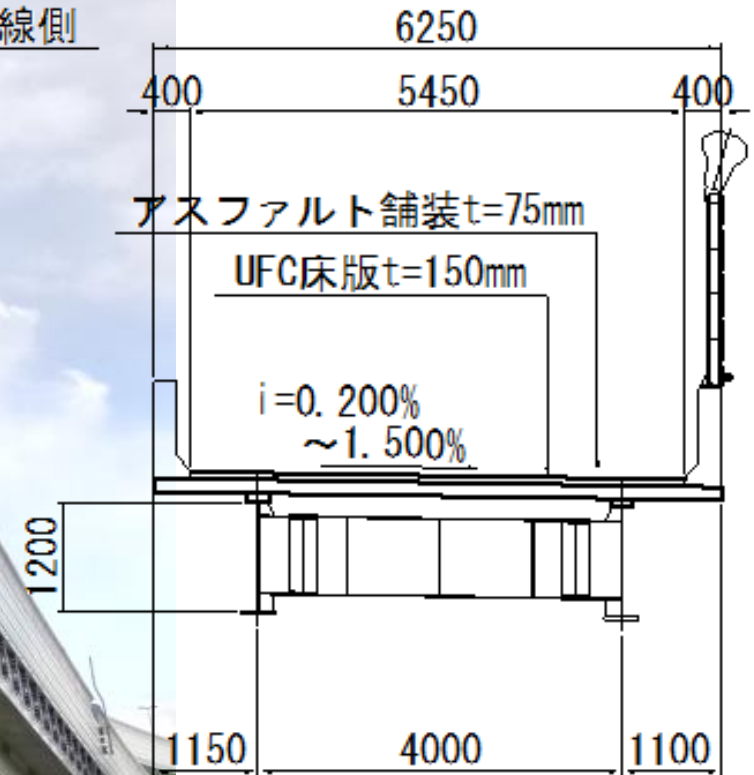
維持管理

ほかの床版形式との相対 比較

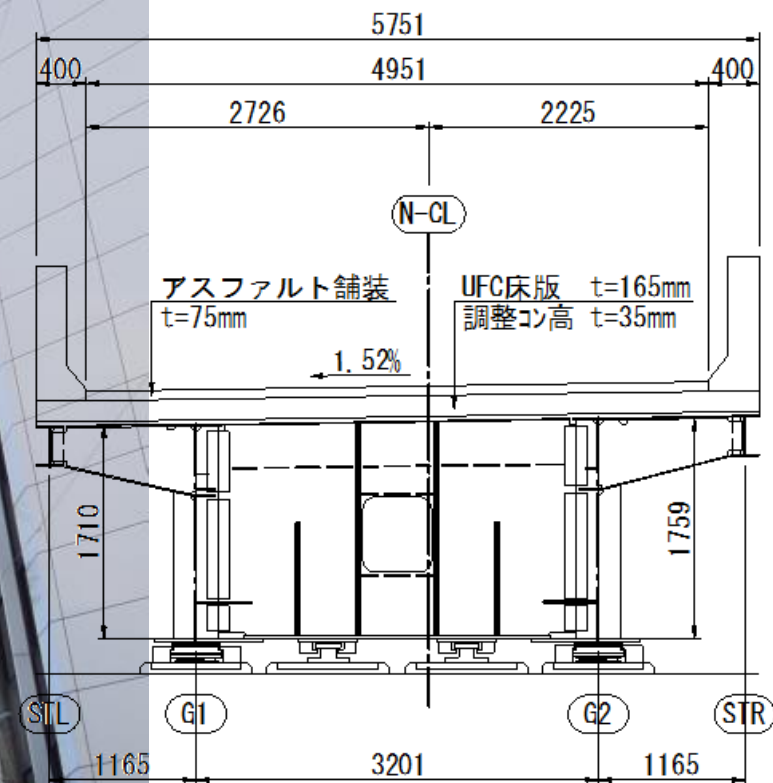
	ワッフル型UFC床版	プレキャストPC床版	鋼コンクリート合成床版	鋼床版
断面図				
支間長	2.0～3.5m(橋軸方向)	最大6.0m(直角方向)	最大6.0m(直角方向)	2.0～3.5m(橋軸方向)
軽量性	◎(UFC)	○	○	◎(鋼構造)
線形対応	▲	▲	▲	◎
路面凍結	○	○	○	▲(鋼構造)
耐疲労性	◎(UFC)	○	○	▲
耐環境性	◎(UFC)	○	○	◎
錆・腐食	○(PCのみ)	▲(鉄筋, PC)	▲(鉄筋, 底鋼板)	▲(鋼構造)
現場施工	◎(接合部)	◎(接合部)	▲(配筋, 打設)	○(ボルト, 溶接)
点検性	○(繊維の影響)	◎	▲(コンクリート部)	▲(き裂の目視)
維持管理費	◎	◎	◎	▲(塗装塗り替え)



本線側



阪神高速 玉出入路（床版取替え）2018



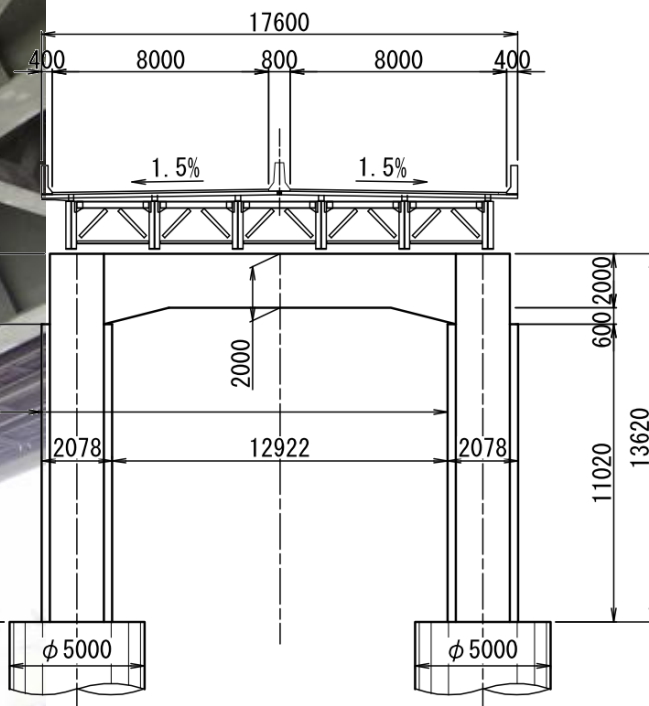
阪神高速 信濃橋入路（新設橋）2019

正面図 S=1:200

P20橋脚

DL=OP±0.000

▽OP-2.000



阪神高速 守口線本線 (床版取替え) 2020

本日のプログラム

材料・床版

設計・施工

特 論

	テーマ	講 師	
13:30	開会挨拶	二羽淳一郎	東京工業大学 名誉教授 (UFC道路橋床版研究会 会長)
13:35	UFC材料	内田 裕市	岐阜大学 教授 (技術委員会 委員長)
13:55	UFC床版の総論	小坂 崇	阪神高速道路(株) 技術部 技術推進総括課長 (事務局・運営部会 主査)
14:15	UFC床版の性能	一宮 利通	鹿島建設(株) 技術研究所 担当部長 (施工部会 材料WG主査)
14:35	UFC床版の設計	渡邊 裕規	(株)総合技術コンサルタント 大阪支社 次長 (設計部会 構造検討WG主査)
15:05	UFC床版の製作	山口 光俊	(株)富士ピー・エス 技術センター サブリーダー (施工部会 製作WG主査)
15:25	UFC床版の施工	齋藤 公生	鹿島建設(株) 関西支店 土木部 担当部長 (施工部会 主査)
15:45	UFC床版に関するQ&A	仲村 賢一	日本工営(株) 大阪支店 交通都市部 次長 (設計部会 主査)
16:05	合成桁のシステム・リダン ダンシーとVulnerability	奥井 義昭	埼玉大学 教授 (技術委員会 委員)
16:25	UFC/UHPCの活用海外事情	三木 朋広	神戸大学 准教授 (幹事長, 技術委員会 委員)
16:45	UFC道路橋床版研究会の紹介	丹羽 信弘	中央復建コンサルタンツ(株) 構造系部門 技師長 (広報部会 主査)