

UFC道路橋床版研究会

技術セミナー2023

2023/1/26

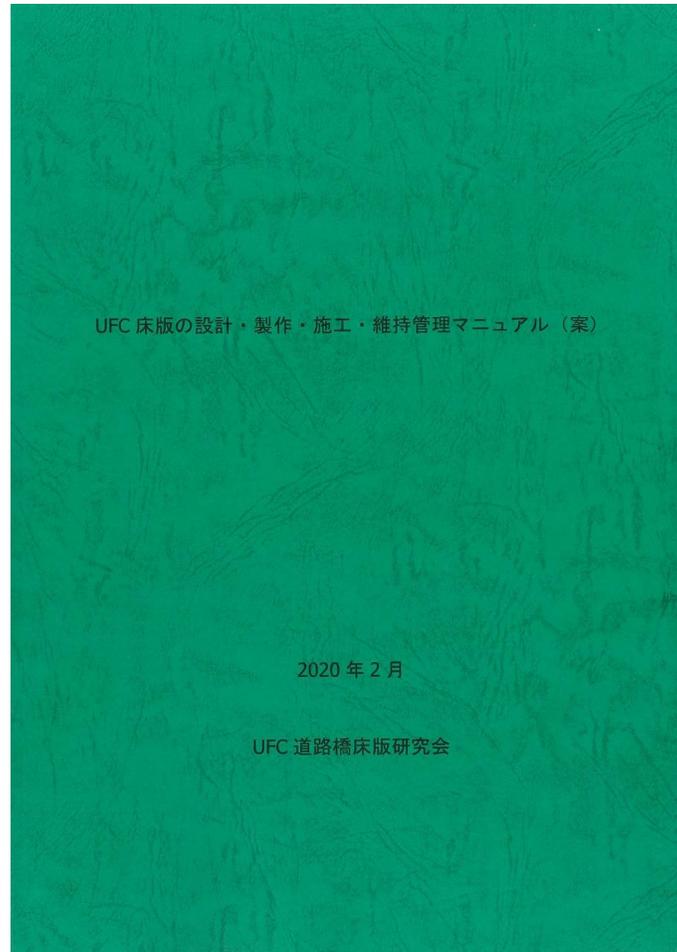
UFC床版設計

設計部会・構造検討WG主査

渡邊 裕規（総合技術コンサルタント）

U F C 床版の設計マニュアルの整備

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



1章 総則

1.1 適用の範囲, 1.2 用語の定義,
1.3 記号の説明

2章 計画

2.1 一般, 2.2 要求性能, 2.3 床版構造の計画
2.4 上部構造の計画, 2.5 施工に関する検討
2.6 維持管理に関する検討

3章 設計

3.1 一般, 3.2 荷重, 3.3 使用材料
3.4 応力およびたわみの制限値
3.5 ワッフル型UFC 床版
3.6 ワッフル型UFC 床版を有する桁構造
3.7 平板型UFC 床版
3.8 平板型UFC 床版を有する桁構造
3.9 鋼桁とのずれ止め, 3.10 構造細目
3.11 現場施工部, 3.12 床版取替え, 3.13 舗装

4章 製作・施工

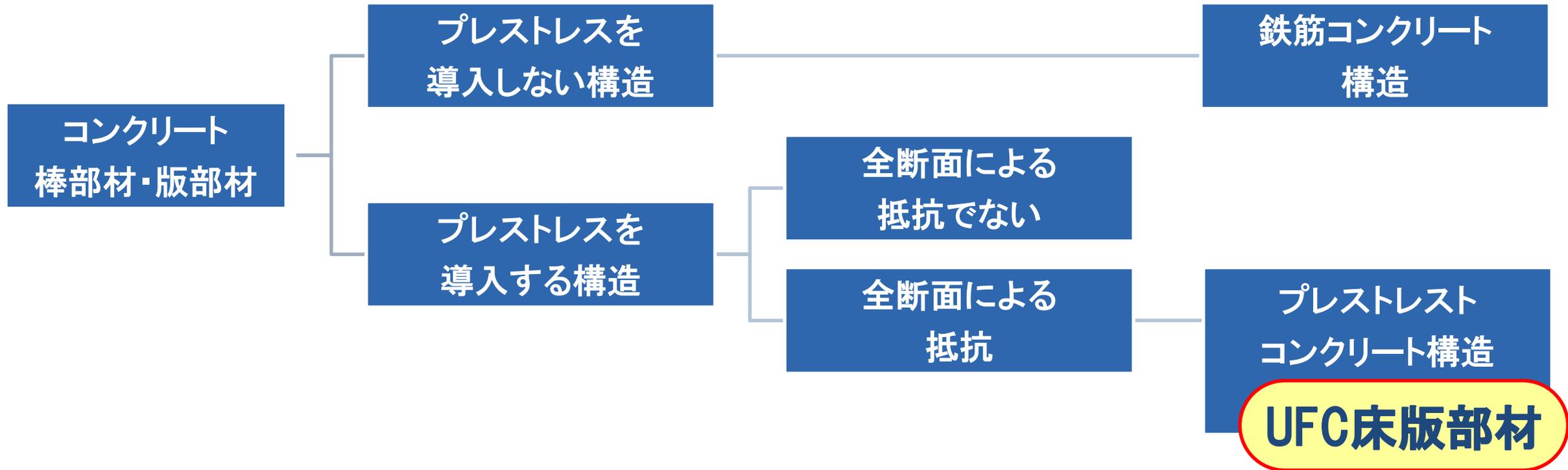
4.1 製作, 4.2 施工, 4.3 床版取替え, 4.4 舗装

5章 維持管理

5.1 一般, 5.2 点検, 5.3 性能評価
5.4 補修, 5.5 更新, 5.6 記録

UFC床版部材の種別

➤ UFC床版は、「プレストレストコンクリート構造」に該当する



- UFC床版は、その設計思想からプレストレストコンクリート構造に分類される。
- PC床版を有する合成桁に準じた設計が基本となる。

UFC床版設計の基本方針

3.1 一般 3.1.1 設計の基本方針

- ① 道路橋示方書(H24道示 I 9.1.2)と同じ要求性能が規定
 - ①耐荷性能：直接支持する活荷重等の影響に対して所要の安全性を有する
 - ②変形の抑制：活荷重に対し疲労耐久性を損なう有害な変形が生じない
 - ③疲労耐久性：自動車の繰返し通行に対して疲労耐久性が損なわれない
- ② 次の 1), 2) の二つの作用を同時に考慮した場合に対して安全であることを照査
 - 1) 床版としての作用(床版作用)
 - 2) 主桁の一部としての作用(桁作用)

- 本マニュアルにおける具体的な設計照査の方法
 - ①耐荷性能 → UFC床版の材料および構造特性を踏まえた設計を行う
 - ②変形の抑制 → 床版の変形に対して走行性, 舗装の耐久性, 鋼桁の疲労について照査を行う
 - ③疲労耐久性 → 輪荷重走行試験により確認する

設計に用いる荷重

3.2 荷重

3.2.1 一般	荷重の種類と組合せは、道示による
3.2.2 死荷重	UFCの単位体積重量は 24.5kN/m^3 を用いる
3.2.3 活荷重	道示による、FEM解析のT荷重は10%増し
3.2.4 衝撃	道示による、床版支間2.5m程度は0.4とする
3.2.5 プレストレスカ	道示による、 収縮およびクリープの影響を適切に考慮して有効プレストレスカを算出する
3.2.6 収縮および クリープの影響	道示による、 最終収縮度やクリープ係数等は、材料の規定に基づいて適切に考慮する
3.2.7 温度変化の影響	道示による、 UFCの熱膨張係数は $13.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ とする

- 道示準拠が基本で、UFC材料に関する事項のみ独自に規定されている

設計に用いる応力の制限値 (UFC床版本体)

3.4 応力およびたわみの制限値

3.4.2 UFC

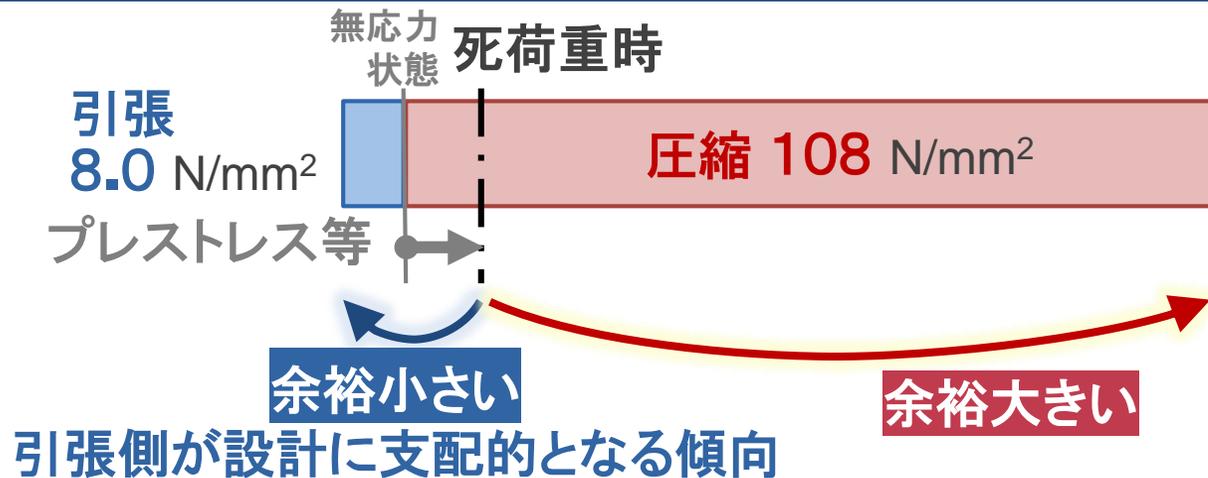
応力の種類	値
曲げ圧縮応力度 軸方向圧縮応力度	108 N/mm ² (= 0.6 f'ck)
曲げ引張応力度 軸方向引張応力度	8.0 N/mm ² (= fcrd) [衝突, L2地震時; 12.0 N/mm ²]
斜め引張応力度	8.0 N/mm ² (= fcrd)

使用性の照査に用いる制限値を規定

f'ck : UFC の圧縮強度の特性値 (=180N/mm²)

fcrd : 割裂ひび割れ発生強度の特性値

※ 衝突・L2 地震時の制限値12.0 N/mm²は、
曲げひび割れ発生強度の特性値



- UFC指針(土木学会)等と同様の規定
- 圧縮応力度と比較して、引張応力度の制限値が小さい(7%程度)
- プレストレス等により導入できる圧縮応力度も限度があり、引張で断面が決定される傾向にある

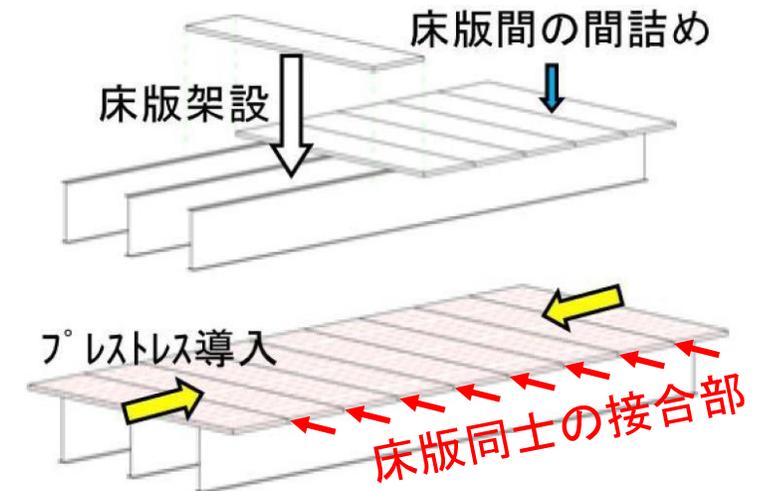
設計に用いるその他の制限値（たわみを除く）

3.4 応力およびたわみの制限値

3.4.3 コンクリートおよびモルタル	<ul style="list-style-type: none"> ① 間詰め部等に使用するコンクリートの制限値は道示による ② 無収縮モルタルの制限値は使用する製品の規定による ③ 繊維を混入する無収縮モルタルを使用する場合は試験等による
3.4.4 PC 鋼材	<ul style="list-style-type: none"> ① PC鋼材の応力度の制限値は道示による ② 高強度PC鋼材の応力度の制限値は高強度PC指針による
3.4.6 床版同士の接合部	活荷重作用時において引張応力が生じない

➤ 床版同士の接合部はプレキャスト部材の接合部と同様に、引張応力が生じないように設計する

→ 実質的に、**橋軸方向には引張応力を生じないように設計**することになる



床版作用に対する設計方法（ワッフル型UFC床版）

3.5 ワッフル型UFC床版

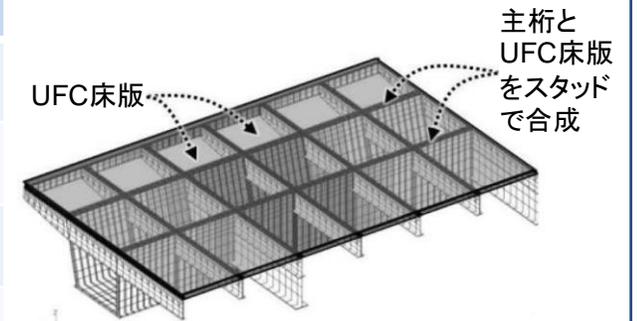
3.5.2 一般

- **ずれ止め用の孔による断面欠損を考慮して応力度の照査を行う**

3.5.4 解析モデル

- 床版作用に対する安全性の照査は、材料線形の**3次元FEM解析**により求める

部 材	モデル化に関する要件
UFC床版	● 立体要素でモデル化
床版を支持する鋼桁	● シェル要素でモデル化
UFC床版内のPC鋼材	● 線要素でモデル化
ずれ止め用の孔	● プレストレス導入時は空洞 ● 鋼桁と一体化した後は、コンクリートまたはモルタル材料の要素でモデル化



FEM解析モデルの例

- ワッフル型UFC床版は、一般のコンクリート床版と比較して形状が複雑で応力分布も複雑になるため、現時点では**3次元FEM解析により設計することが標準**とされている。

床版作用に対する設計方法（ワッフル型UFC床版）

3.5 ワッフル型UFC床版

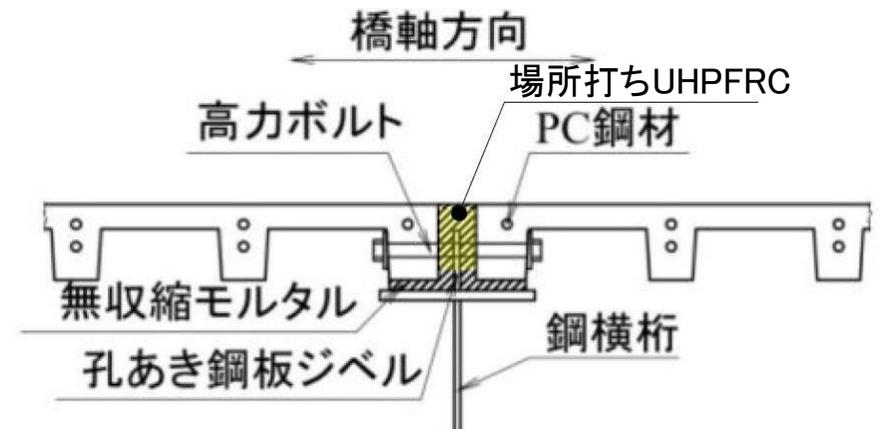
3.5.5 そりに対する配慮

- プレストレスの導入に伴って生じる変形(そり)について、舗装や走行性に影響がないようにする

3.5.6 床版同士の接合部

- 床版同士は、鋼横リブおよび鋼横桁に支持された状態で接合する
- 高力ボルトによって接合。ボルトの本数および締結力は、輪荷重の作用によって生じる接合部に引張応力度が生じないようにする
- 孔あき鋼板ジベルを介して接合する場合は複合示方書による（輪荷重走行試験で確認された構造は照査を省略できる）

- 床版上下縁のプレストレスによる応力差が大きい場合、そりが大きくなる
→ プレストレスの作用位置はできる限り図心付近とする
- 床版同士の接合部の標準的な構造と設計手法が規定される



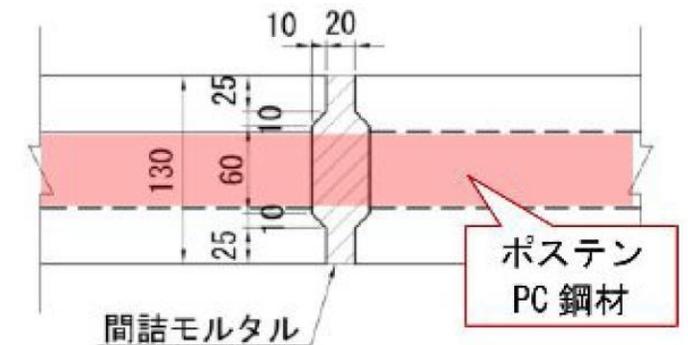
ワッフル型UFC床版の接合部の構造

床版作用に対する設計方法（平板型UFC床版）

3.7 平板型UFC床版

3.5.2 一般	<ul style="list-style-type: none"> ● 道示の床版の設計曲げモーメントに対して設計することを標準とする （床版厚が道示規定を下回り、かつ実績のない範囲となる場合にはFEM解析により設計する） ● ずれ止め用の孔による断面欠損を考慮して応力度の照査を行う
3.7.3 床版の厚さ	<ul style="list-style-type: none"> ● 構造細目および応力設計を満足する床版厚さとする ● 最小床版厚は130mm（輪荷重走行試験で疲労耐久性が確認されたもの）
3.7.5 床版同士の接合部	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計荷重時に引張応力が発生しないようにプレストレスを導入する ● 断面力を確実に伝達できるように接合キー等を設ける

- 平板型UFC床版では、**道示の設計方法が標準**とされるが、実績のない構造の場合は、FEM解析により曲げモーメントおよびせん断力に対する照査が必要である



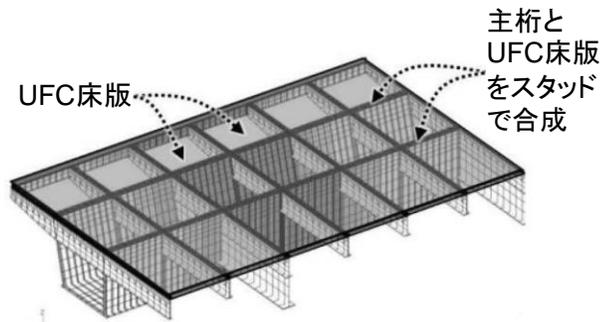
平板型UFC床版の接合部の構造

桁作用(合成桁)に対する設計方法 (ワッフル型, 平板型)

3.6 ワッフル型UFC床版を有する桁構造

3.6.3 解析モデル

- **3次元FEM解析**により算出を基本とする



3.7 平板型UFC床版を有する桁構造

3.7.3 解析モデル

- **格子桁モデル**による算出を標準とする
(必要に応じてFEM解析を実施)

- **ワッフル型UFC床版**は、一般のコンクリート床版と比較して形状が複雑で応力分布も複雑になるため、現時点では**FEM解析により算出**することが基本とされている。
- 一方向板である**平板型UFC床版**の場合、合成桁としての設計は一般的なコンクリート系床版を有する鋼桁と大きく変わらないとみなせるため、**格子桁モデルを標準**とされる。

ずれ止めの設計

3.9 鋼桁とのずれ止め

設計荷重時の照査	$H_d < Q_a$ ここに, Q_a : 許容せん断力 = 降伏せん断耐荷力 $Q_y / 3$ (安全率3) H_d : 設計荷重時の作用せん断力
疲労に対する照査	$N_{eq} < N_\tau$ ここに, N_{eq} : 等価繰返し回数 N_τ : 疲労寿命 $N_\tau = 10^{\{1.75 - \log(\Delta \tau / 9.81)\} / 0.117}$ (鋼構造物設計指針の式)

■ 設計荷重時の照査

降伏せん断耐荷力 Q_y は、押し抜き試験の結果からオフセット法により求める
 試験結果の例

間詰めモルタルの圧縮強度	押し抜き試験による耐荷力		許容せん断力 $Q_a = Q_y / 3$	(参考) H24道示
	最大 Q_{max}	降伏 Q_y		
71.6 N/mm ²	155.4 kN	107.6 kN	32.1 kN	37.7 kN
65.3 N/mm ²	137.1 kN	99.8 kN		
65.8 N/mm ²	149.3 kN	96.2 kN		

↪ 85% ↩

(床版:t=150mm, スタッド:φ22, 間詰め PE繊維L=6mmを0.2Vol.%混入した無収縮モルタルt=50mm)

- ずれ止めの設計せん断力は、押し抜き試験結果から求める
- せん断耐力は道示式より若干小さくなる傾向に注意(間詰め部50mmの影響と考えられる)

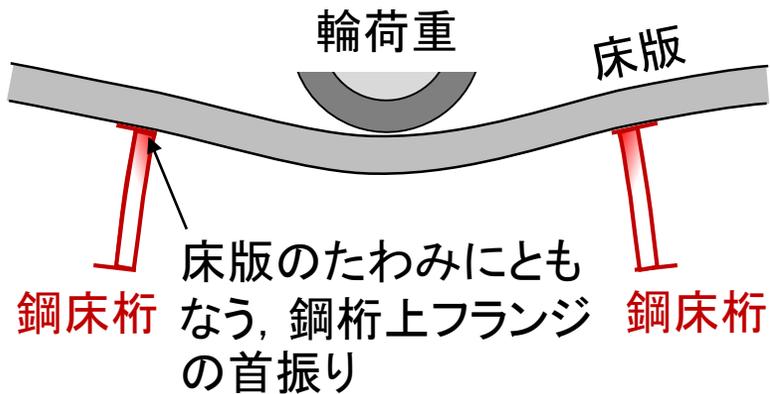
有害な変形に対する照査（活荷重たわみ）

3.4 応力およびたわみの制限値

3.4.5 たわみ

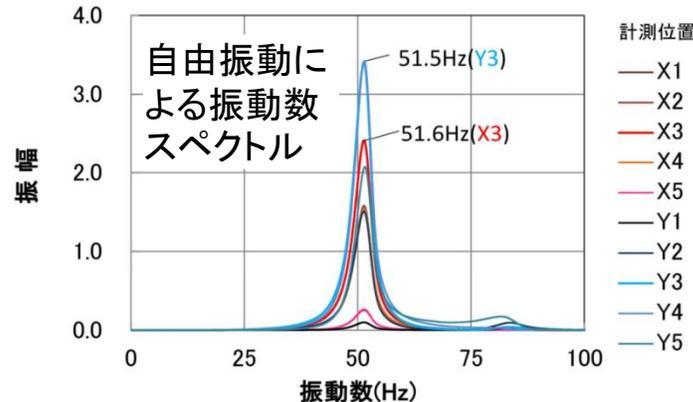
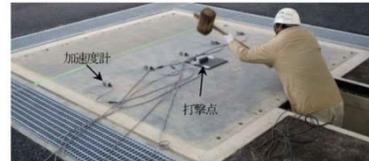
同程度の床版支間を有する鋼床版のたわみ以下とする、もしくは鋼桁への影響、車輛の走行性、振動および舗装の耐久性への影響について検討により機能が確保できることを確認

■ 鋼桁への影響



床版の剛性が小さいほど活荷重による応力振幅が大きくなる

■ 振動特性の検討例

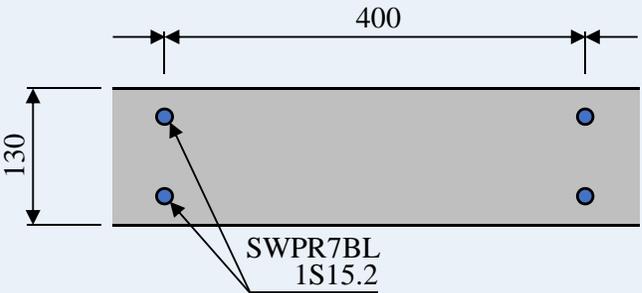
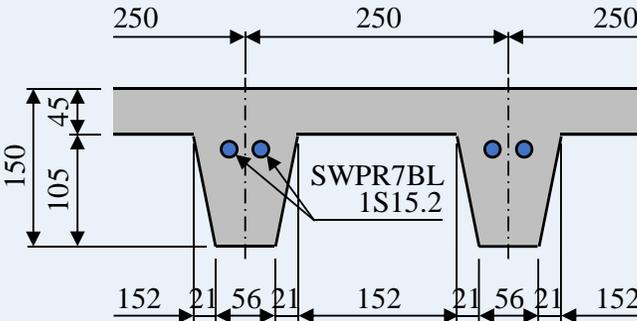
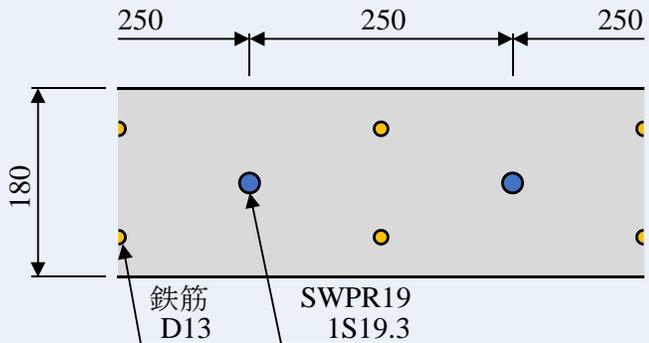


固有振動数=51Hz程度
車のバネ下振動数=13~18Hz
(タンデム式ダンプトラックの場合)

- 床版の変形に対して走行性、舗装の耐久性、鋼桁の疲労について照査を行うことを規定

有害な変形に対する照査（活荷重たわみ）

■ 活荷重たわみの目安 設計条件と床版支間が同じ(全てL=2.5m)の輪荷重走行試験の供試体で比較

床版種別	平板型UFC床版	ワッフル型UFC床版	PC床版 (PC8-1, PC8-2)
試験体諸元	<p>床版厚 $t = 130$ mm 床版支間長 $L = 2.5$ m (車両進行方向に直角)</p> 	<p>$t = 150$ mm (総厚) $L = 2.5$ m (車両進行方向に平行) $L = 2.5$ m (車両進行方向に直角)</p> 	<p>$t = 180$ mm $L = 2.5$ m (車両進行方向に直角)</p> 
設計荷重による床版応力度 *1	<p>上縁 $\sigma_u = 16.2 \text{ N/mm}^2 < 108$ (圧縮) 下縁 $\sigma_l = 5.7 \text{ N/mm}^2 < 8$ (引張)</p>	<p>上縁 $\sigma_u = 29.6 \text{ N/mm}^2 < 108$ (圧縮) 下縁 $\sigma_l = 4.9 \text{ N/mm}^2 < 8$ (引張)</p>	<p>D+Lで引張を許容しない (H8道示に基づく設計)</p>
床版の曲げ剛性 EI	<p>8,100 kN・m²/m (PC床版の55%)</p>	<p>6,000 kN・m²/m (PC床版の41%)</p>	<p>14,600 kN・m²/m</p>

たわみ 1.8 倍程度

たわみ 2.4 倍程度 *2

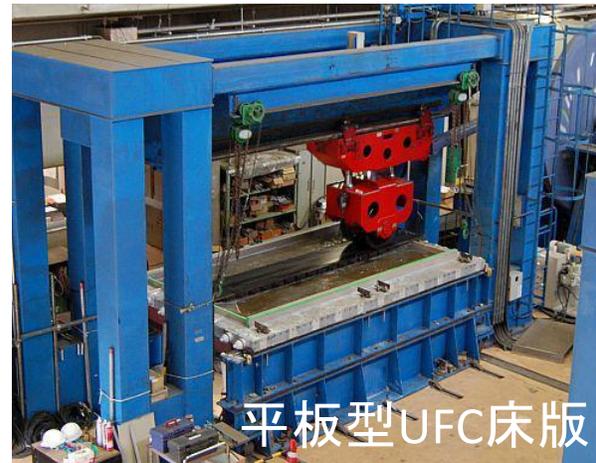
*1 : D + PS + L

*2 : 2方向版を考慮しない場合

疲労耐久性の照査

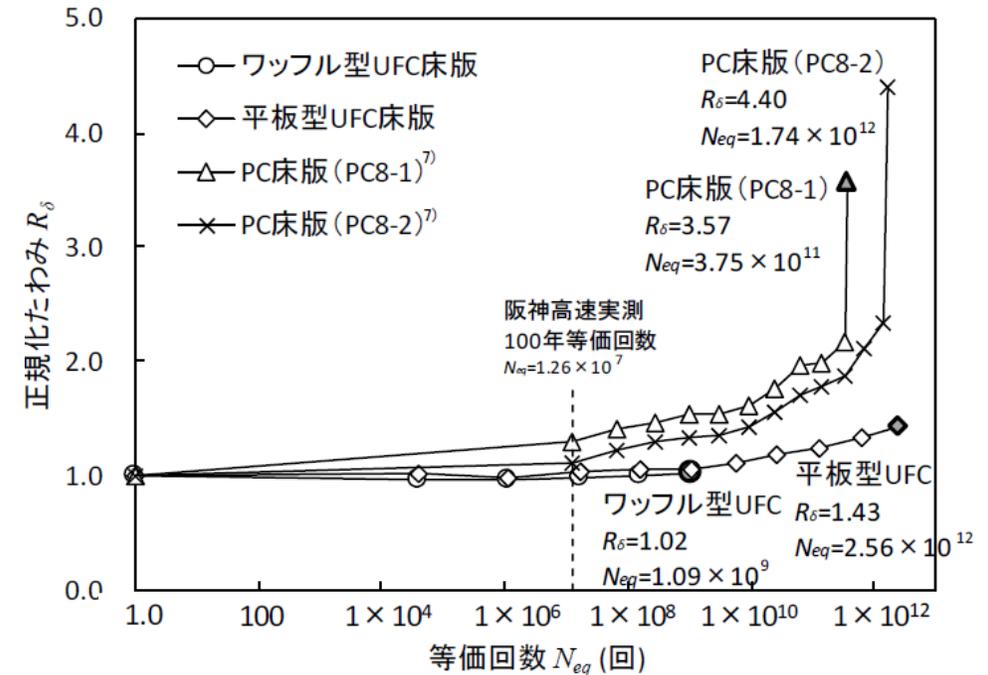
3.1 一般 3.1.2 疲労耐久性の照査

UFC床版は、3.1.1(1)を満たすことを**輪荷重走行試験によって照査**することを標準とする。



輪荷重走行試験の状況

- 輪荷重走行試験が実施された床版構造を採用
- これらの床版と異なる条件とする場合は、輪荷重走行試験による確認の必要性を検討

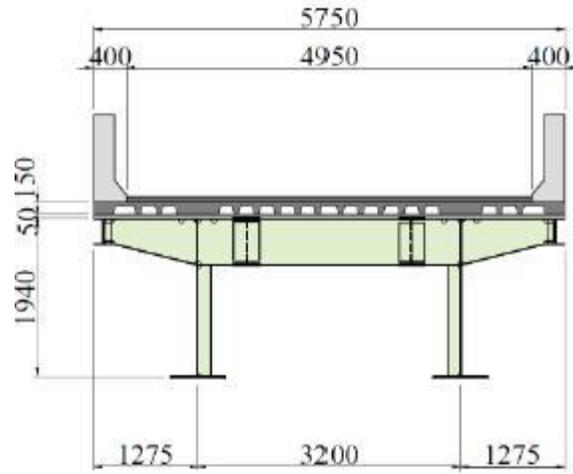


輪荷重走行試験による
疲労耐久性の比較

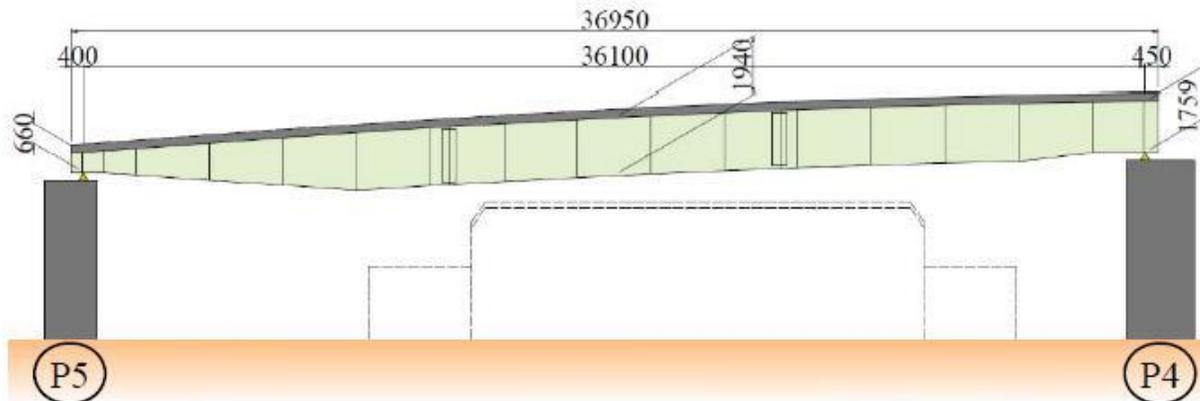
ワッフル型UFC床版の設計例

構造形式： 鋼合成単純2主鈹桁橋
 橋長： 37.0m / 支間長：36.1m
 幅員： 5.75m(全幅), 4.95m(有効)

■ワッフル型UFC床版(15枚設置)
 幅：5750mm／長さ：2450mm
 厚さ：150mm(スラブ：45mm)
 使用PC鋼材：SWPR7BL 15.2mm
 重量：35.3kN/枚

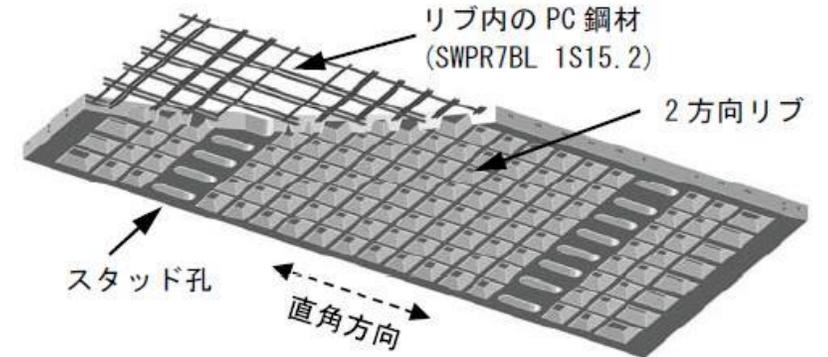


断面図

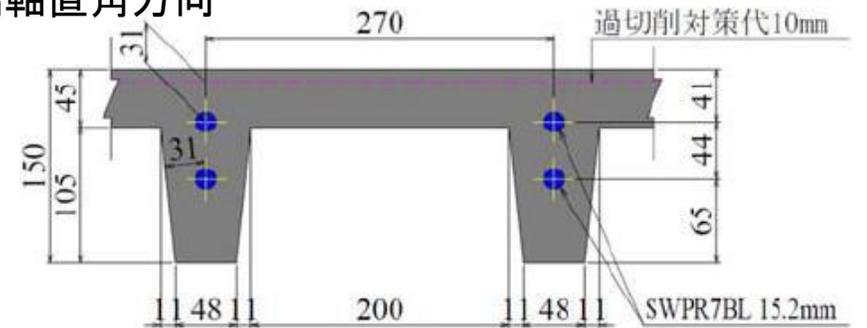


側面図

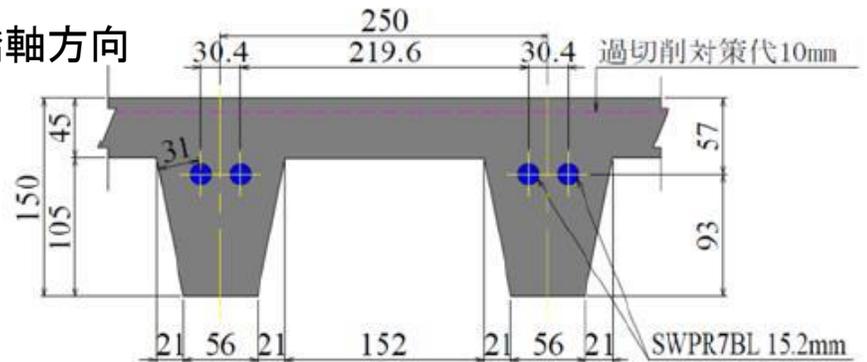
ワッフル型UFC床版



橋軸直角方向

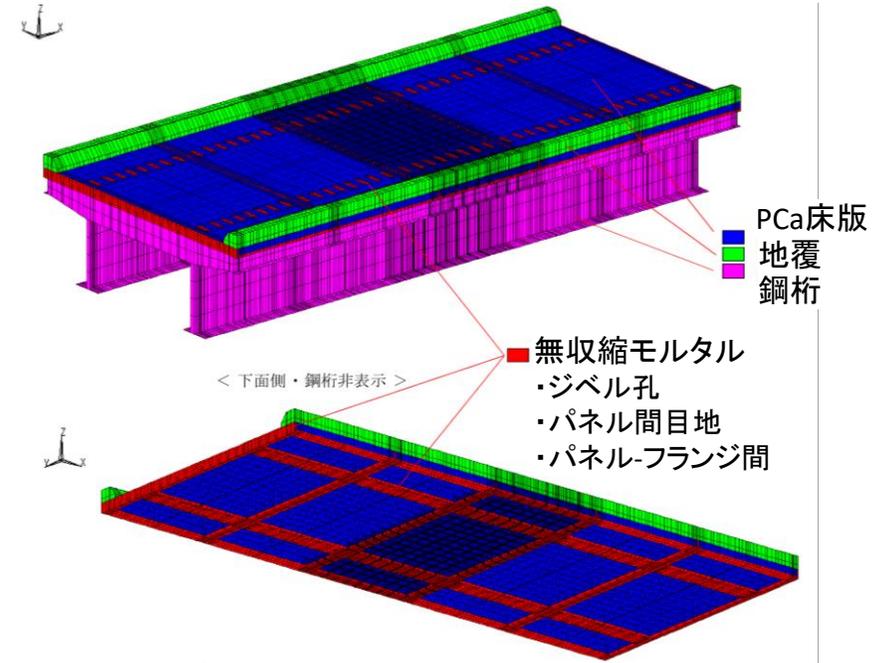


橋軸方向

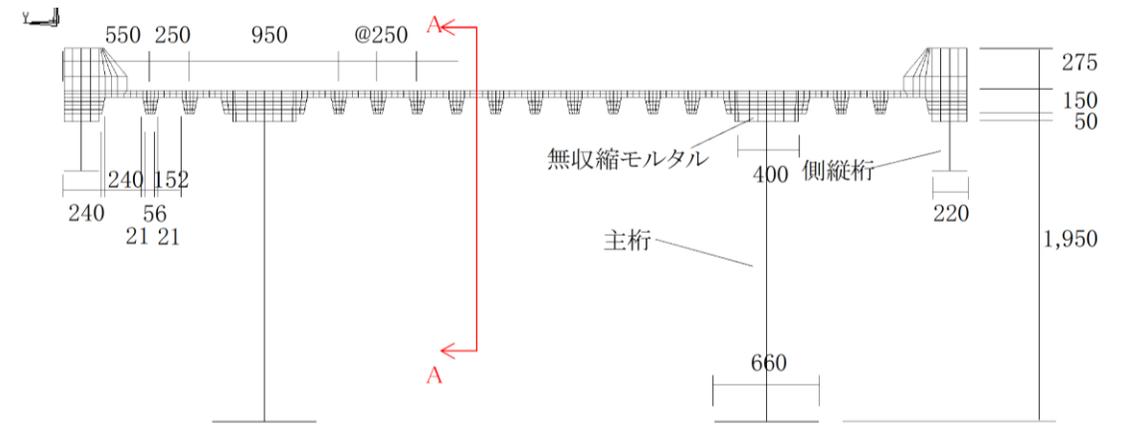
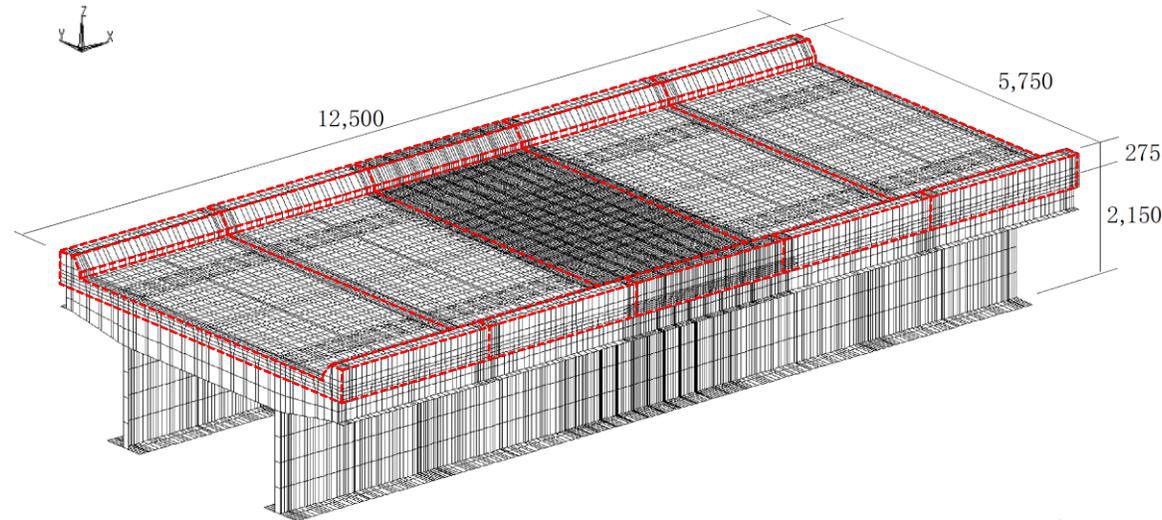


ワッフル型UFC床版の設計例

- ① UFC床版の設計は、2方向のリブの荷重分散効果やリブに発生する局部応力を確認するため、5パネル分をリブ形状やスタッド孔を含め、詳細にモデル化して解析を実施
- ② UFC床版や床版同士の接合部、および主桁接合部をソリッド要素で、鋼桁をシェル要素でモデル化
- ③ プレテンションPC鋼材は線部材として床版内部に配置
- ④ 実際の施工手順を考慮し各荷重が載荷されるタイミングの境界条件を再現



解析モデルの材料区分



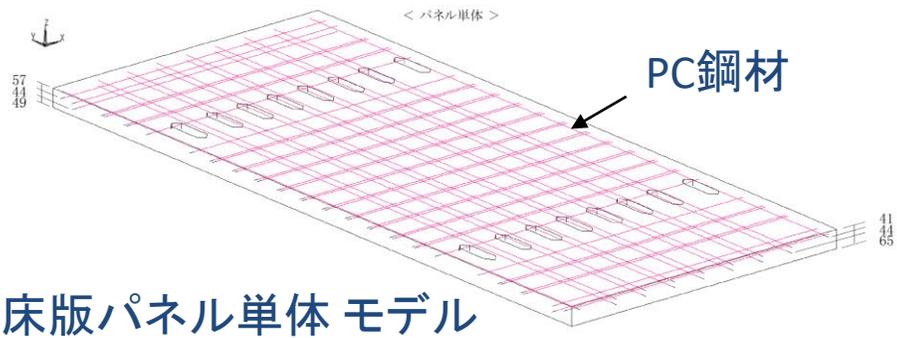
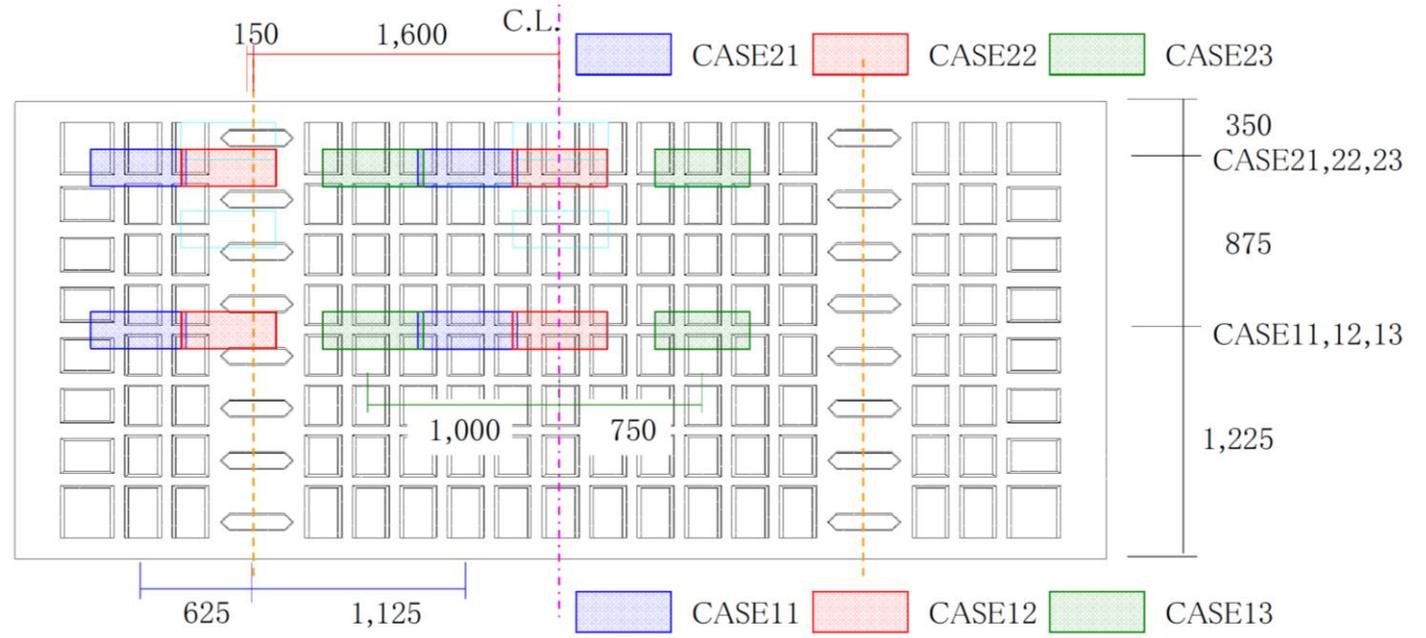
全体モデル

ワッフル型UFC床版の設計例

■ 設計荷重と境界条件

荷重種別		境界条件
死荷重	自重	合成前 (床版パネル単体)
	プレストレス	
	橋面荷重	合成後 (鋼桁との合成構造)
ボルト接合荷重		
活荷重	活荷重	合成後 (鋼桁との合成構造)
	風荷重	
	衝突荷重	

■ 活荷重の載荷

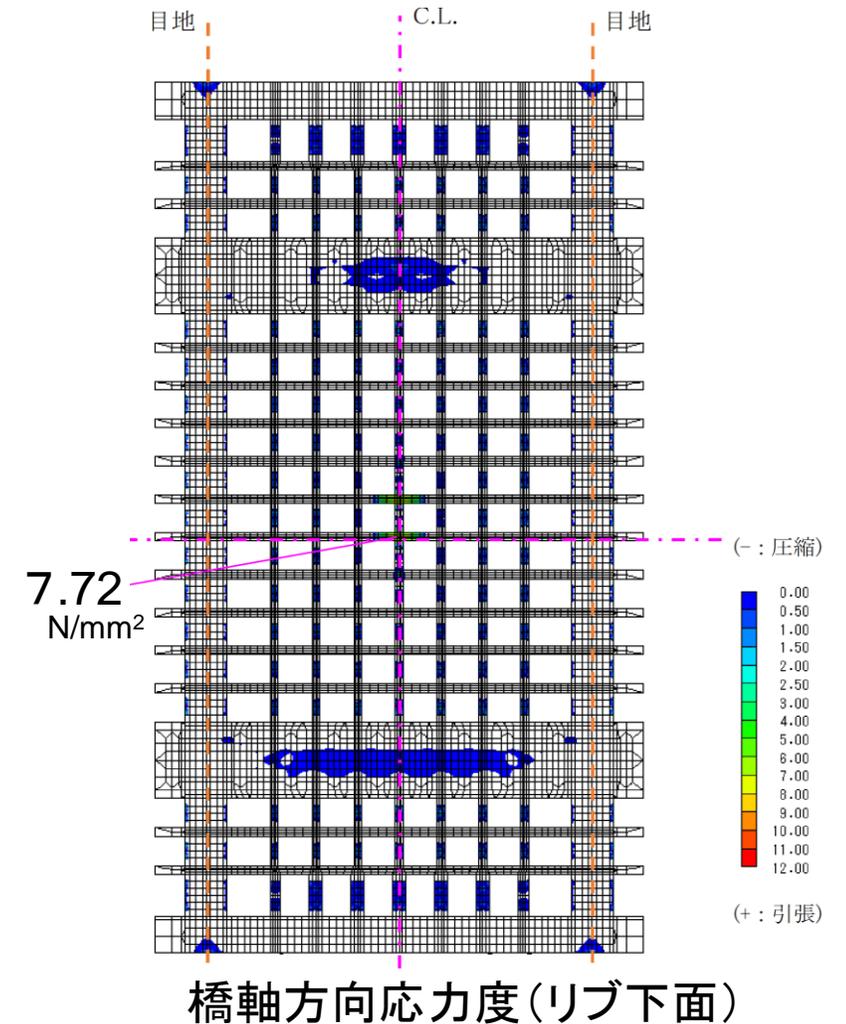


床版各部に対して最も不利となる位置にT荷重を載荷(8ケース)
 $100\text{kN} \times 1.38(\text{衝撃係数}) \times 1.1(\text{安全係数}^*) = 1.52\text{kN/1輪}$

ワッフル型UFC床版の設計例

■ 床版の応力度照査(リブ下面の引張応力度の例)

荷重組合せ		最大引張応力度 (N/mm ²)	
		上面	下面
死荷重		1.23	2.80
死荷重	+ 活荷重(Case1-1)	1.95	6.55
"	+ 活荷重(Case1-1) + 1/2風(外→内)	1.41	6.46
"	+ 活荷重(Case1-1) + 1/2風(内→外)	2.48	6.65
"	+ 活荷重(Case1-1) + 衝突	2.34	6.64
"	+ 活荷重(Case1-2)	1.19	7.72
"	+ 活荷重(Case1-3)	1.18	7.06
"	+ 活荷重(Case2-1)	1.71	3.86
"	+ 活荷重(Case2-1) + 1/2風(外→内)	1.29	4.01
"	+ 活荷重(Case2-1) + 1/2風(内→外)	2.24	3.80
"	+ 活荷重(Case2-1) + 衝突	2.10	3.76
"	+ 活荷重(Case2-2)	1.23	4.32
"	+ 活荷重(Case2-3)	1.51	3.91
"	+ 活荷重(Case3-2)	2.02	5.98
"	+ 活荷重(Case4-2)	1.24	2.93



- 全ての荷重の組合せに対して、全ての部位において制限値以下となることが確認されている

今後の課題

- ✓ 床版の有害な変形(活荷重たわみ)に対する具体的な性能指標の検討
- ✓ UFC床版の特性を踏まえた鋼桁を含む合成桁としての設計の最適化
 - コストの最小化を踏まえた合成桁の計画(主桁本数, 配置の最適化 等)
 - ワッフル型UFC床版と平板型UFC床版の使い分け など
- ✓ 連続桁における中間支点部床版の引張力に対する効果的な対応策
 - ポストテンション, ジャッキアップダウン工法等の検討 など
- ✓ 設計の標準化(一般的な設計手法を適用するための関連規定や資料の充実)
 - 床版設計に用いる設計曲げモーメント等の整理
 - 標準適用支間長の整理 など