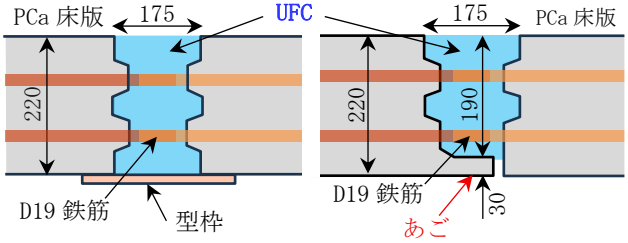
UFCを用いたあご付き床版接合構造の構造性能と設計手法およびコスト削減効果

（株）大林組　正会員　○侯　陳偉
（株）大林組　正会員　櫻井　英子
（株）大林組　正会員　富永　高行

１．はじめに

高度経済成長期に整備された多くの高速道路橋においては，大型車交通量の増加による疲労や凍結防止剤散布による塩害の影響で床版損傷が著しく，速やかな床版取替えが必要とされている．当社保有の床版接合技術[1)]は，プレキャスト床版（以下，PCa床版）の接合部に超高強度繊維補強コンクリート(以下，UFC)を用い，接合部の幅を狭めて橋軸直角方向鉄筋を省略する工法である．本技術のさらなる現場省力化とコスト削減を目的として，厚さ220㎜のPCa床版内に厚さ30㎜のあご部を設け，接合部の型枠工を省略できる「あご付き床版接合構造」を開発した（**図-1**）．本稿では，あご部の構造的な挙動を確認する静的載荷試験とFEM解析の結果，本構造の設計手法およびコスト削減効果について報告する．



(a) 従来の床版接合構造　**(b) あご付き床版接合構造**

図-1　あご付き床版接合構造概要図

２．あご付き床版接合構造における課題

既往の UFC を用いた床版接合構造における技術開発[2)]では，UFC 厚が 190㎜ の薄肉床版の疲労耐久性が輪荷重走行試験（NEXCO 試験法 442[3)]）を満足していることから，220㎜ の PCa 床版厚さ内に 30㎜ 厚のあご部を設けて UFC 厚を 190㎜ としても疲労耐久性が確保できると考えた．しかし，あご部を設けることで，あご部と UFC 部の構造的な挙動の確認や接合部の設計手法の確立及びコスト削減効果の定量的な算出が課題となった．

３．あご付き床版接合構造の挙動把握

（１）静的載荷試験の概要と結果

静的載荷試験は4点曲げ試験とし（**図-2**と**写真-1**），3ケース実施した．**表-1**に試験ケースとイベント発生荷重の理論値を，**図-3**に試験体概要図を示す．コンクリートの設計基準強度は50N/㎟，UFCの設計ひび割れ発生強度は8.0N/㎟，鉄筋はSD345とする．**表-1**に示す梁BM2では橋軸方向，床版SL2,SL3では橋軸直角方向の断面力に着目しており，SL2は床版支間中央の正曲げ部，SL3は張出し床版の負曲げ部を対象としている．道路橋示方書で規定される床版の設計曲げモーメント[4)]を荷重換算した値（以下，設計荷重）も**表-1**に合わせて示す．

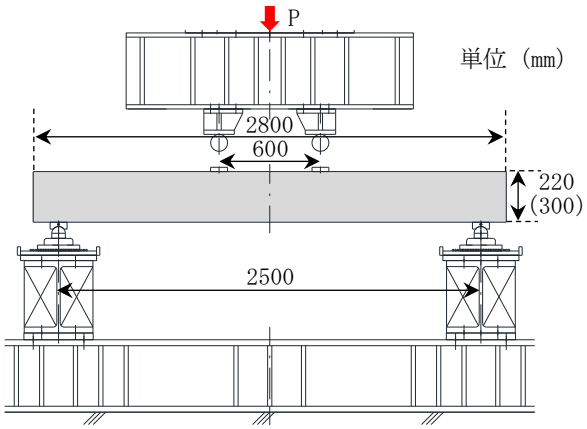


図-2　静的載荷試験の概要



写真-1　載荷試験の状況（SL2）

キーワード　床版取替え，あご付き床版接合構造，UFC，現場省力化，コスト削減，荷重分担係数
連絡先　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2　品川インターシティ B 棟　（株）大林組　TEL050-3829-3752

表-1　試験ケースと各イベント発生荷重の理論値（2 載荷点の合計荷重）

試験ケース	床版厚 (mm)	床版幅 (mm)	緊張力	載荷点断面 (kN)				接合部 (kN)		道路橋示方書で規定される設計荷重値 (kN)	
				ひび割れ発生時	鉄筋許容応力度	鉄筋降伏時	終局時	ひび割れ発生時			
								あご部	UFC 部		
梁 BM2	220	550	無	31	38	120	154	-	56	2.5m 支間中央	27
床版 SL2	220	1000	有	204	273	451	574	54	112	2.5m 支間中央	62
床版 SL3	300	1000	有	341	430	724	1028	-	191	1.5m 張出支点	131

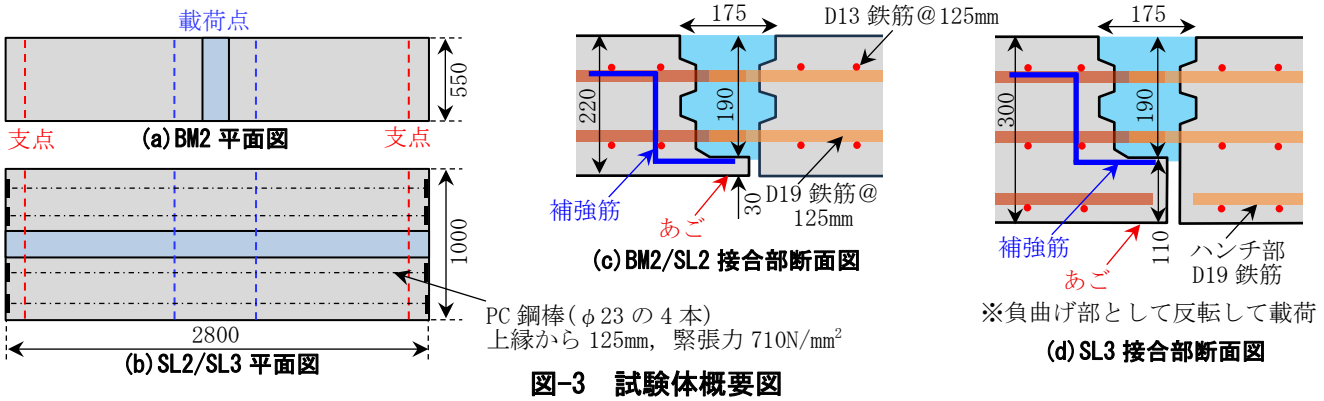


図-3　試験体概要図

SL2のあご部の曲げひび割れ強度の理論値は，設計荷重62kNよりも低い54kNであり（**表-1**の赤枠），設計荷重よりも低い荷重でひび割れる．しかし，理論値算出時には考慮していないプレストレスの効果が期待されるため，載荷試験で確認することとした．

静的載荷試験の代表的な結果として SL2 の荷重－変位曲線を**図-4** に示す．青字と青色破線は各イベント発生荷重の理論値を，赤字は実験値を示す．あご部のひび割れ発生は，理論値の 54kN に対して試験値は 225kN と大きく上回る結果となった．一方で，鉄筋降伏や最大荷重などのイベントは理論値と試験値は概ね一致しており，理論値の妥当性を確認した．

写真-2 に SL2 の側面と下面のひび割れ状況を示す．青色点線が載荷点位置，赤色実線が初期ひび割れ位置を示している．初期ひび割れは PCa 床版部およびあご部に同時に発生したが，コンクリート圧壊の終局に至るまで，あご部の先行破壊や剥離は確認されなかった．上記の結果より，あご部天端の打継処理と補強筋 D10@125mm を配置した場合，あご部と UFC 部が一体化されることを確認した．

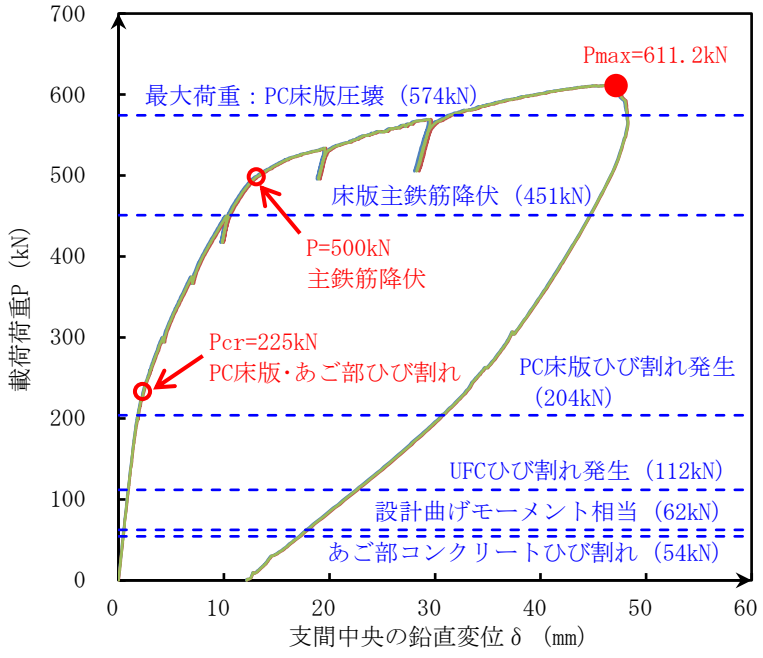


図-4　荷重-変位曲線（SL2）

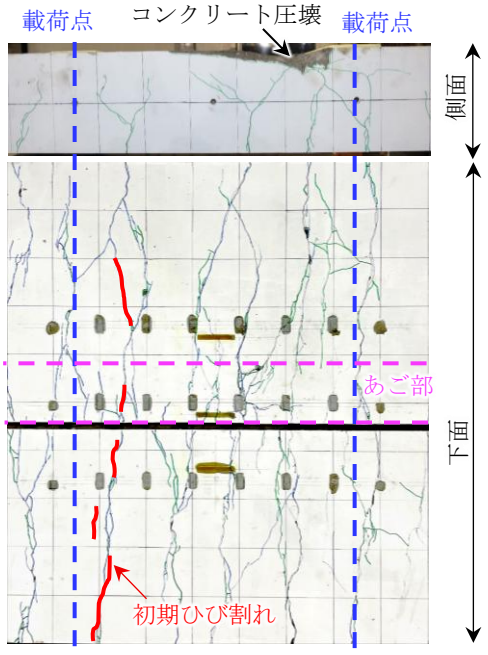


写真-2　ひび割れ発生状況（SL2）

表-2 に各試験ケースの結果一覧を示す．SL2 と同様に BM2 および SL3 においても終局時まであご部と UFC 部の剥離は生じず，一体化が維持された．表中の赤枠は最大荷重 Pmax と設計荷重の比，すなわち安全率を示す．BM2 の安全率は 4.6 と，他の試験体と比較して小さいものの，道路橋示方書における終局時の荷重組合せ係数の最大値は 2.5 であり，十分な安全率を有していると判断できる．

表-2　静的載荷試験結果一覧

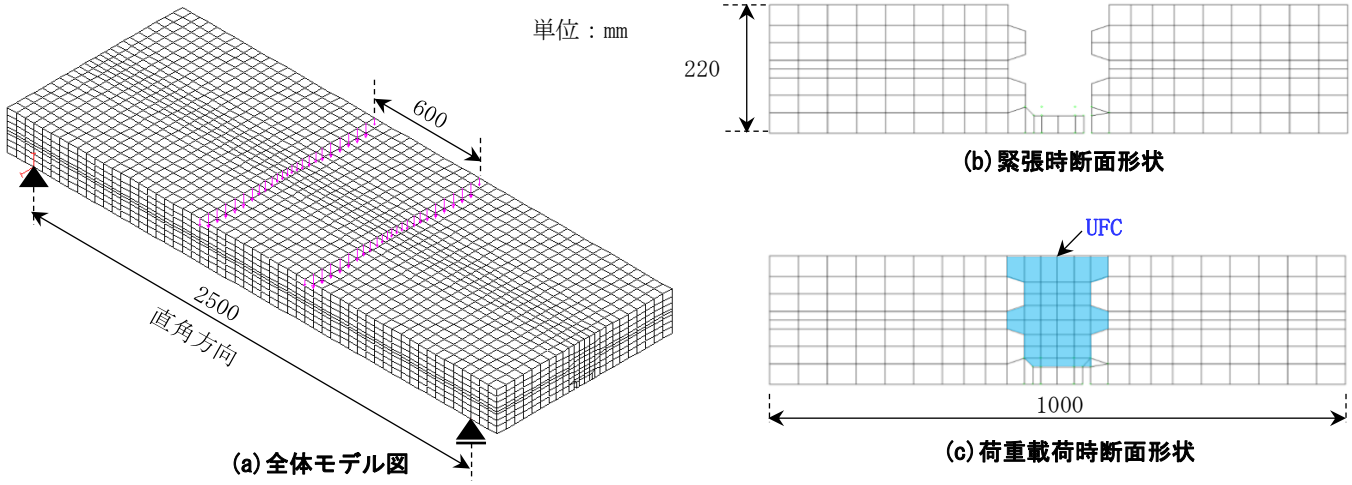
試験ケース	設計荷重 (kN)	Pcr (kN)	Pmax (kN)	Pmax/設計荷重	破壊モード
梁 BM2	27	30	124	4.6	曲げひび割れの進展
床版 SL2	62	225	611	9.8	載荷点コンクリートの圧壊
床版 SL3	131	250	918	7.0	載荷点コンクリートの圧壊

Pcr：ひび割れ発生荷重；Pmax：最大荷重

（２）FEM解析の概要と結果

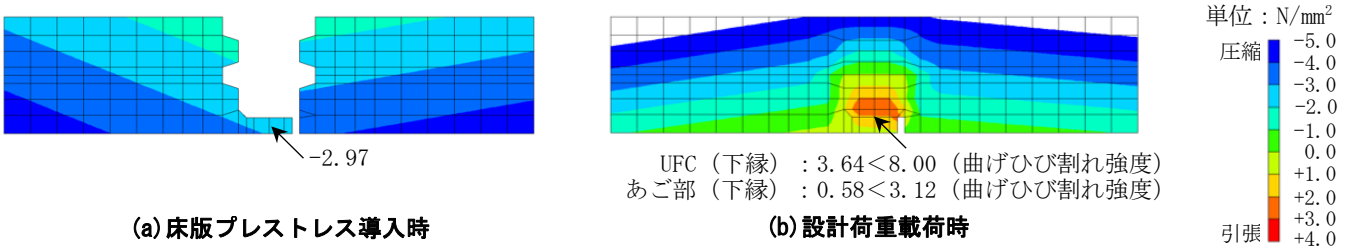
あご部におけるひび割れ発生荷重について，あご部に入るプレストレスの影響が大きいと考え，FEM 解析（解析ソフト：FEMLEEG 9.1）にて検証した．SL2 の解析モデルを**図-5** に示す．FEM 解析は 1)床版プレストレス導入，2)接合部 UFC 打込み，3)設計荷重載荷の 3 ステップで行った．

ステップ 1)と 3)の支間中央断面の応力度分布を**図-6** に示す．標準的な PCa 床版設計において，あご部には 2.97N/mm^2 の圧縮応力度が導入されていることが確認できる．これより，あご部にもプレストレスが期待できるため，当初の RC 計算で算出したあご部曲げひび割れ強度の理論値より，試験値が大きくなったと考えられる．また，設計荷重時には，あご部および UFC 部のいずれにおいても発生応力度が曲げひび割れ強度以下となり，ひび割れが発生しないことが確認された．



(a)全体モデル図　(b)緊張時断面形状　(c)荷重載荷時断面形状

図-5　FEM 解析モデル（SL2）



(a)床版プレストレス導入時　(b)設計荷重載荷時

図-6　支間方向応力度分布（支間中央断面）

４．あご付き床版接合構造の設計手法

（１）荷重分担係数 β

部材の曲げ変形のしにくさは，一般的に曲げ剛性（EI）で表現される．曲げ変形時の曲げ剛性と曲率の関係を**図-7** に示す．PCa 床版と接合部は一体化された後に同じ挙動を示すことから，両者の曲率は同じになる．したがって，PCa 床版と接合部の剛性より両者の断面力の分担比率を算出できる．1m あたりの曲げモーメントに対する接合部の分担率を荷重分担係数 β とし，**図-8** にその算出例を示す．

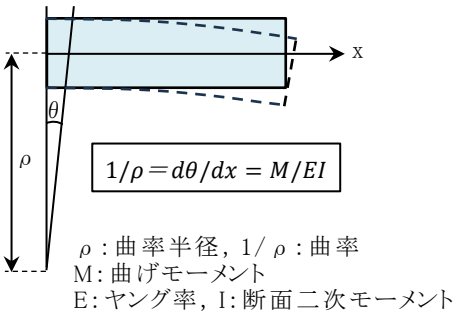


図-7　曲げ剛性と曲率の関係

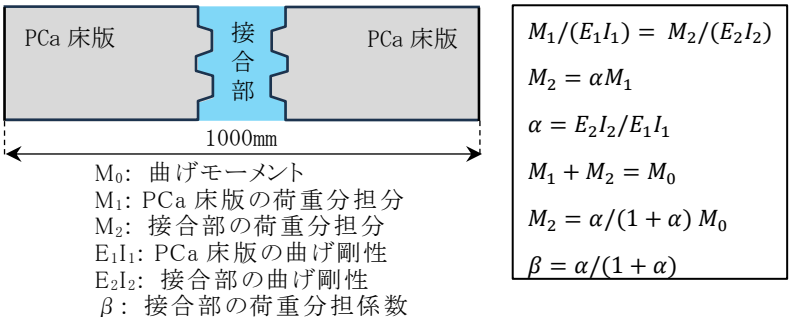


図-8　荷重分担係数β の算出

（２）設計手法

あご付き床版接合構造の設計手法は，あご部が引張側となる支間中央部と圧縮側になる張出し支点部で分け，以下の手順にて設計する．

1) 接合部の荷重分担係数 β の算出：支間中央部と張出し支点部とも終局時まであご部の先行破壊や剥離が生じないため，あご部を有効とした合成断面で曲げ剛性（EI）を算出し，荷重分担係数 β を算出．

2) 支間中央部の UFC 部の応力度照査：床版支間長や緊張力によって，あご部分が先行してひび割れる可能があるため，あご部を無効（断面欠損）とした断面，UFC 部のみ有効とした断面にて応力度照査．

3) 張出し支点部の UFC 部の応力度照査：圧縮側のあご部の先行ひび割れは発生しないため，荷重分担係数 β の算出時と同様に，あご部を有効とした合成断面で UFC 部の応力度照査．

（３）試設計による適用支間長

（２）で提案した設計手法で UFC 部の発生応力度が 8.0N/mm² になる荷重を算出し（以下，試設計），設計手法の妥当性および適用支間長を確認した．橋面荷重は 80mm 厚の舗装とフロリダ型壁高欄で算出した．支間中央部に対しては，SL2 で試設計した荷重を FEM 解析モデルに載荷した結果を**図-9** に示す．UFC 部の発生応力度は 5.28N/mm² と試設計結果に比べて小さく，安全側の設計となった．鈑桁橋の標準的な床版支間は 2.5m であるが，載荷した荷重値は，床版支間約 3.3m の連続版の設計曲げモーメントに相当するため，提案設計手法が標準的な鈑桁橋に適用できると考えられる．張出し支点部に対しては，支点部床版厚ごとに張出し長を試設計した結果を**図-10** に示す．網掛けで示す範囲が，試設計で UFC 部の発生応力度が 8.0N/mm² 以下となる場合である．標準的な鈑桁橋は，支点部床版厚 300mm（床版厚 220mm とハンチ厚 80mm），張出し長 1.5m であり，提案設計手法が適用できると考えられる．

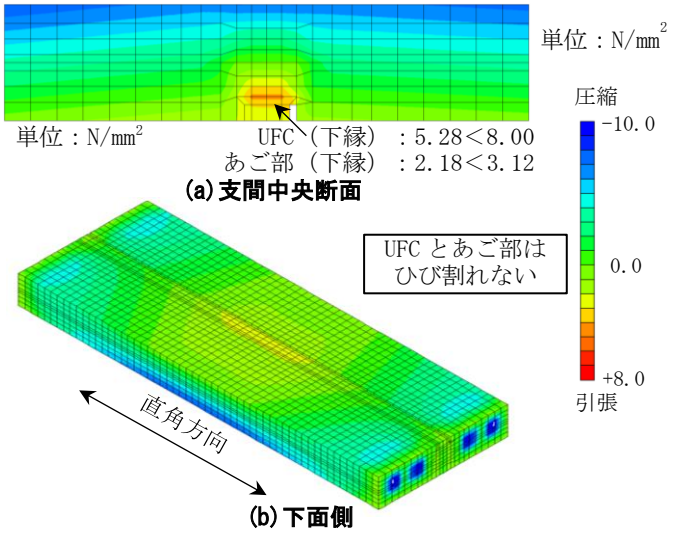


図-9　支間方向応力度分布（UFC 部ひび割れ荷重時）

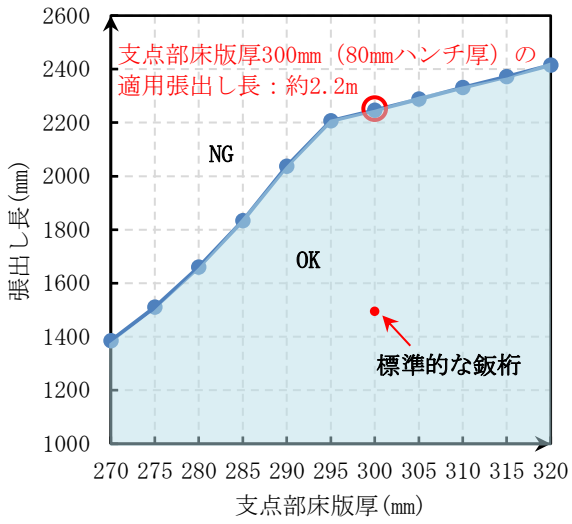


図-10　支点部床版厚の適用張出し長

５．コスト削減効果

あご付き床版接合構造のコスト削減効果を定量的に算出し，従来の床版接合構造とのコストを比較した．コ

スト比較の対象は1)PCa床版製作工，2)接合部の型枠工，3)接合部の間詰め工（UFC工）の合計コストとする．従来の床版接合構造の場合，1)PCa床版製作工が合計コストに占める割合は約76%，2)接合部の型枠工の割合は約8%，3)接合部の間詰め工の割合は約16%である（**図-11**）．

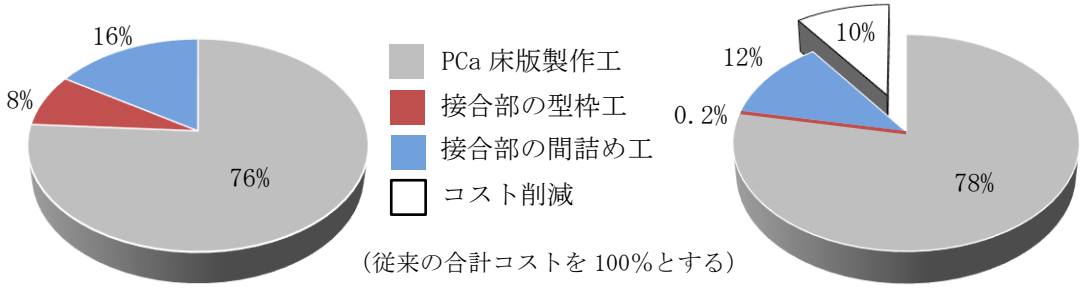
PCa床版製作工については，床版の製作枚数や使用する鋼製型枠のタイプ数などに関連するため，先行の施工実績に合わせて，以下の条件で床版の製作費用を算出した．

a)幅 2.00m×長さ 11.87m×厚さ 0.22m の標準床版を 36 枚分

b)鋼製型枠 1 セット製造，床版製造は 1 枚/日（＝打設日 36 日）

c)運搬費や水中養生費及び排水桝などの付属物費用は含まない

あご付き床版接合構造の場合，従来の床版接合構造より床版製作時の型枠形状が複雑になり，使用する鉄筋量とコンクリート量も僅かに増えるため，PCa床版の製作コストは約3%高くなる．接合部の型枠工については，**図-1**と**写真-3, 4**に示すように，あご部を設けることで，接合部の型枠工が省略でき，型枠工のコストを約98%削減できる．接合部の間詰め工については，**図-1**と**写真-4**に示すように，間詰め材料を低減でき，コストを約25%削減できる．最終的に1)+2)+3)の合計コストは約10%低減できる（**図-11**）．



(a)従来の床版接合構造のコスト　　**(b)あご付き床版接合構造のコスト**

図-11　あご付き床版接合構造のコスト削減効果

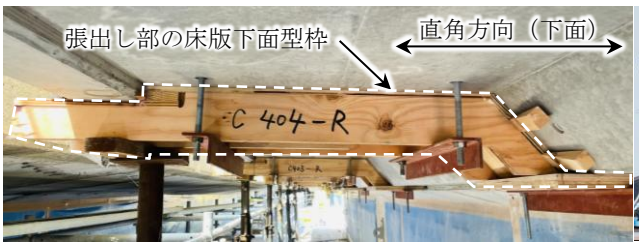


写真-3　従来の床版接合構造の型枠配置例

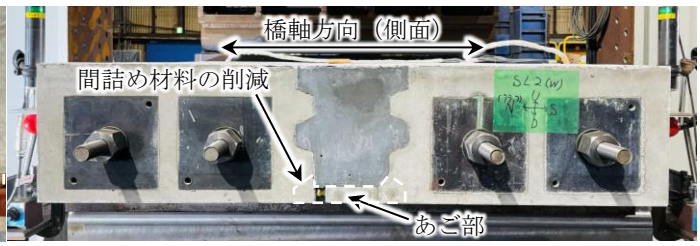


写真-4　あご付き床版接合構造の接合部参考例（SL2）

６．おわりに

静的載荷試験とFEM解析により，あご付き床版接合構造のあご部とUFC部が構造的に一体化して挙動することを確認し，荷重分担係数βを用いた安全側の設計手法を確立した．また，従来の床版接合構造に代えて，あご付き床版接合構造を採用することで，床版製作費と接合部の施工費の合計コストを約10%低減できることを確認した．今後は実工事への適用事例を拡大していく予定である．

参考文献

1)　富永高行, 内田雅一, 天野寿宣, 檜作正登：新たな PCa 床版接合工法「スリムファスナー®」による床版取替の急速施工, 土木学会, 第 74 回年次学術講演会論文集, VI-568, 2019.

2)　齊藤翔太, 釘宮晃一：床版接合構造に常温硬化型 UFC を用いた 190mm 厚床版の輪荷重走行試験, 土木学会, 第 79 回年次学術講演会論文集, VI-241, 2024.

3)　東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法, 試験法 442 プレキャスト床版接合部の疲労耐久性, 2023.

4)　(公社)日本道路協会：道路橋示方書･同解説, Ⅱ鋼橋編, pp284～287, 2012.