

## 付 録

- 各種試験および試算結果
- 論 文

## 目 次

### ・各種試験および試算結果

1. コンクリートの強度特性……………付-1
2. 高流動コンクリートの自己充填性確認試験……………付-2
3. 曲げ載荷試験……………付-3
4. せん断載荷試験……………付-4
5. 頂版の押抜きせん断試験……………付-5
6. 長支間モデルの曲げ載荷試験……………付-6
7. 充填性確認試験……………付-7
8. 押抜きせん断に対する検討……………付-8
9. 二酸化炭素排出量の削減効果……………付-9

### ・論文

1. 2004年 極東工業（株） 技報  
「トラス筋を有する軽量スラブの開発」……………付-11
2. 2005年 土木学会 第60回年次学術講演会  
「トラス筋を有する軽量スラブの曲げ及び押抜きせん断特性」……………付-17
3. 2005年 土木学会 第60回年次学術講演会  
「プレストレスを導入したトラス筋を有する軽量スラブの検討」……………付-19
4. 2006年 極東工業（株） 技報  
「KS スラブ性能確認試験報告」……………付-21
5. 2006年 土木学会 第61回年次学術講演会  
「トラス鉄筋を用いた軽量スラブの力学特性」……………付-29

1. コンクリートの強度特性

KS スラブに使用する高流動コンクリートの強度特性を検証するため、表 1.1 に示す配合により試験練りを行い、各種強度試験を行った。

コンクリートの圧縮強度、ヤング係数、引張強度測定は、それぞれ JIS A 1108 「コンクリートの圧縮強度試験方法」、JIS A 1149 「コンクリートの静弾性係数試験方法」 および JIS A 1113 「コンクリートの割裂引張強度試験方法」により実施した。

圧縮強度発現特性を図 1.1 に示す。

圧縮強度に対する引張強度およびヤング係数の関係を図 1.2, 1.3 に示す。なお、一般的なコンクリートとの比較のため、コンクリート標準示方書に準拠したそれぞれの設計値も図中に示している。これらによると、ヤング係数は多少のばらつきはあるものの設計値と同程度であり、引張強度に関しては設計値と同等以上である。

表 1.1 配合表

水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能減水剤	
		水 W	セメント C	PFBC 灰 P	細骨材 (-5mm) S	粗骨材 (5~15mm) G	(kg/m <sup>3</sup> )	(B×%)
32	50.0	170	371	159	797	821	8.50	1.60

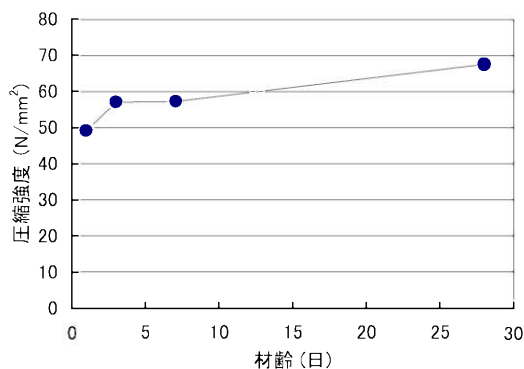


図 1.1 圧縮強度発現特性

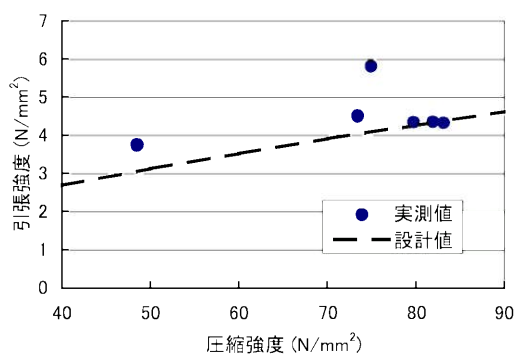


図 1.2 圧縮強度-ヤング係数の関係

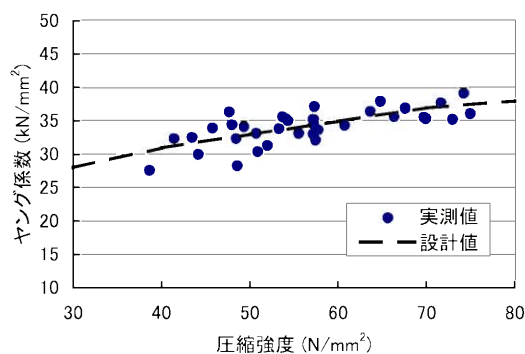


図 1.3 圧縮強度-引張強度の関係

## 2. 高流動コンクリートの自己充填性確認試験

高流動コンクリートの自己充填性を確認するため、凹型の試験体（幅 750mm×高さ 900mm×奥行き 100mm，写真 2.1，2.2）を用いて検証した。なお，高流動コンクリート施工指針第 5 章 5.1(1)では「フレッシュコンクリートの自己充填性は，実際の構造物または部材を模擬した，これと同等の構造条件および施工条件を有する実物大模型等により照査しなければならない」と規定されている。

これらの試験や試験施工において，型枠の隅々までコンクリートを充填することができ，打設後の試験体にも豆板，すじ，気泡等による欠陥は認められなかった。



写真 2.1 自己充填性確認試験  
（凹型試験体）



写真 2.2 自己充填性確認試験  
打設完了



写真 2.3 高流動コンクリート打設状況



写真 2.4 脱枠後の製品

### 3. 曲げ載荷試験

KS スラブの曲げ特性を明らかにするため、静的曲げ載荷試験を行った。

試験体断面は図 3.1 に示すようにスラブ厚を 400mm (50mm+50mm, 中空部 300mm)、 $\phi$  13mm のトラス筋を 2 列に配置した試験体により行い、2 点集中荷重により載荷した (写真 3.1)。

図 3.2 に KS スラブが破壊に至るまでの荷重と支間中央たわみの関係を図 3.3 に荷重と下縁のひずみの関係を示す。計算結果はトラス筋の影響を無視したコンクリート断面による断面定数により算出している。図によれば、たわみやひずみおよび各段階での荷重値は概ね計算結果と一致していることがわかる。

破壊形態は写真 3.2 に示すように支間中央での曲げ圧縮力による圧壊であった。

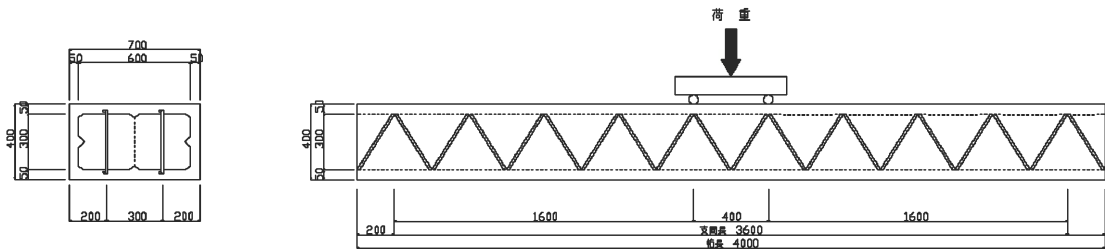


図 3.1 試験概要図

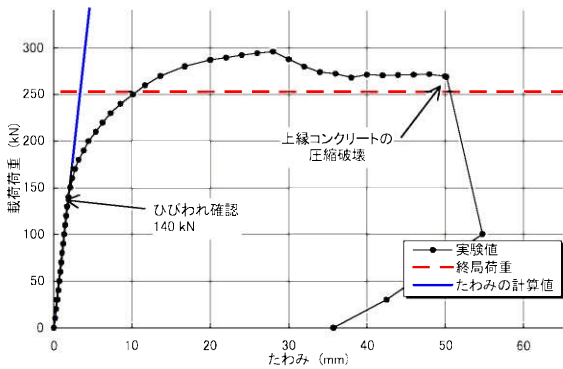


図 3.2 荷重-たわみの関係



写真 3.1 試験状況

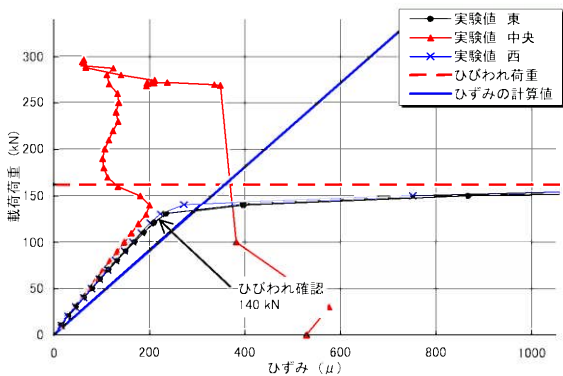


図 3.3 荷重-ひずみの関係



写真 3.2 破壊状況

#### 4. せん断載荷試験

KS スラブのせん断特性を明らかにするため、静的せん断載荷試験を行った。

試験体断面は図 4.1 に示すようにスラブ厚を 400mm (50mm+50mm, 中空部 300mm)、 $\phi 13$ mm のトラス筋 (SR235) を 2 列に配置し、コンクリートウェブを排除した試験体より行い、2 点集中荷重により載荷した (写真 4.1)。

図 4.2 に KS スラブが破壊に至るまでの荷重と支間中央たわみの関係を図 4.3 に荷重と座屈に至ったトラス筋のひずみの関係を示す。計算結果は FRAME 解析により算出している。

トラス筋は座屈に至るまでほぼ線形を保っており、圧縮応力が約 280N/mm<sup>2</sup> に達したときに座屈変形を起こしている。

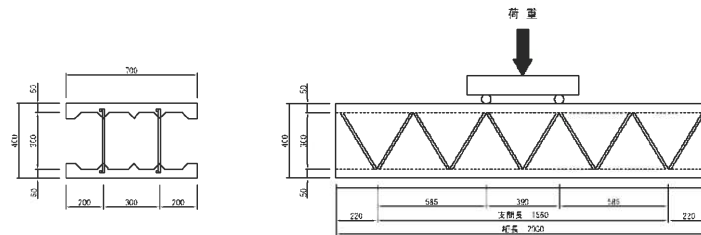


図 4.1 試験概要図

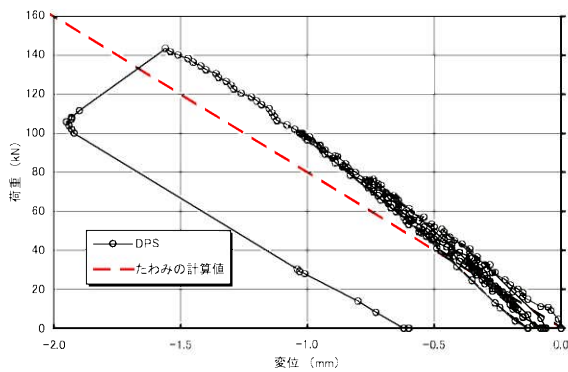


図 4.2 荷重-たわみの関係



写真 4.1 試験状況

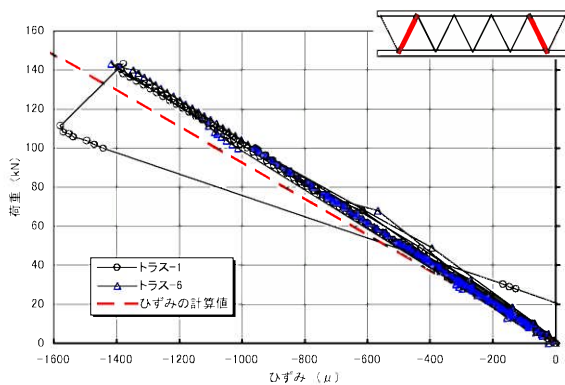


図 4.3 荷重-トラス筋のひずみの関係



写真 4.2 破壊状況 (トラス筋の座屈)

5. 頂版の押抜きせん断試験

KS スラブの押抜きせん断特性を明らかにするため、頂版に対する押抜きせん断試験を行った。

試験は頂版厚さ 50mm の試験体に対して EPS を除去した箇所と EPS を残した部分について試験を行った。載荷板の大きさは 50mm×50mm であり、2 列に配置したトラス筋の中央に載荷している(図 5.1)。

図 5.2 に頂版が破壊に至るまでの荷重と載荷点での変位の関係を示している。設計耐力は道路橋示方書に準拠した。

図より、約 40kN 付近まで EPS の有無によることなくほぼ同様な経過を辿り、これ以降 EPS 有りでは依然として荷重の伸びが見られ、最終荷重では両者に約 1 割程度の差が現れた。

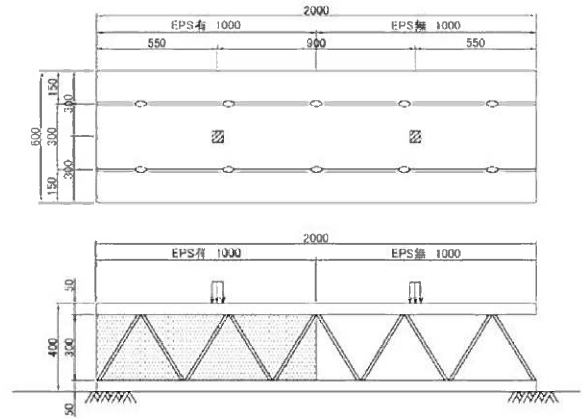


図 5.1 試験概要図

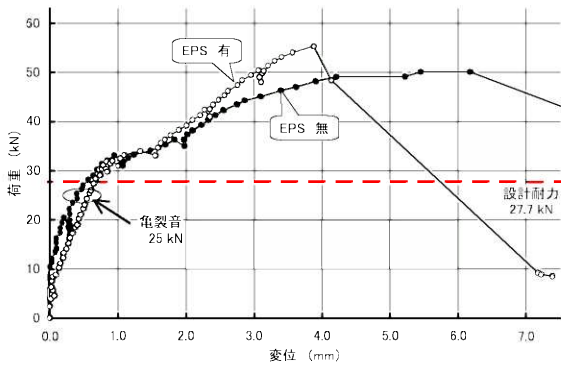


図 5.2 荷重-変位の関係



写真 5.1 試験状況



写真 5.2 破壊状況



写真 5.3 破壊状況

6. 長支間モデルの曲げ載荷試験

KS スラブでは最大支間長となる支間長  $L=15\text{m}$  の実物大試験体の曲げ耐荷性能を確認した。

たわみの実測値と弾性解析による計算値を比較すると、曲げひびわれ発生時（約  $95\text{kN}$ ）まで実測値と計算値は一致している。また、鋼材降伏時のたわみを  $1\delta$ （ $55\text{mm}$ ）としたとき、終局時のたわみは  $8.4\delta$ （ $464\text{mm}$ ）であり、構造物の粘り強さを表す靱性率は  $8.4$  倍と靱性に富んでいることがわかる。

一方、トラス筋の挙動を見ると、概ね実験値と計算値は一致しているが、軸鉄筋などの鋼材のひずみと比べて、若干精度に劣ると思われる。こうした実測と計算のズレは EPS の影響とトラス筋の取り付け位置の施工誤差によってもたらされるものが原因と考えられる。

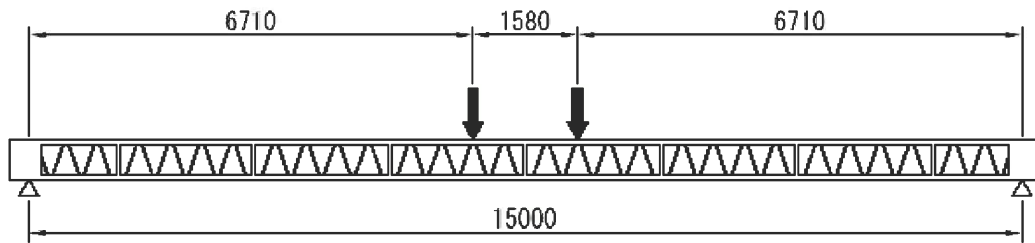


図 6.1 試験概要図

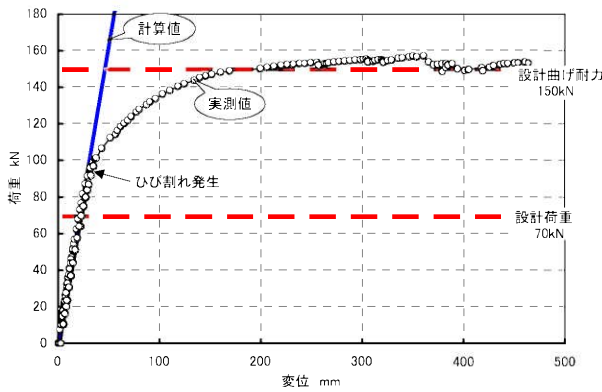


図 6.2 荷重-たわみの関係



写真 6.1 載荷試験状況

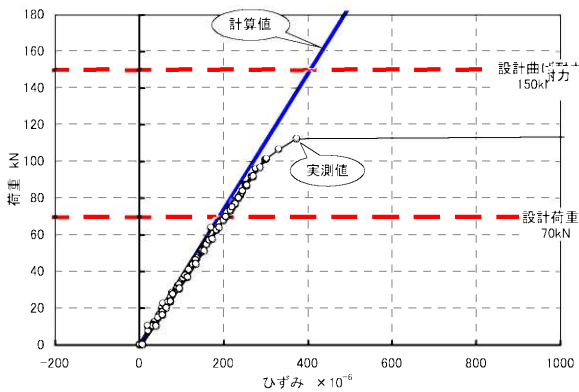


図 6.3 荷重-下側鉄筋のひずみの関係

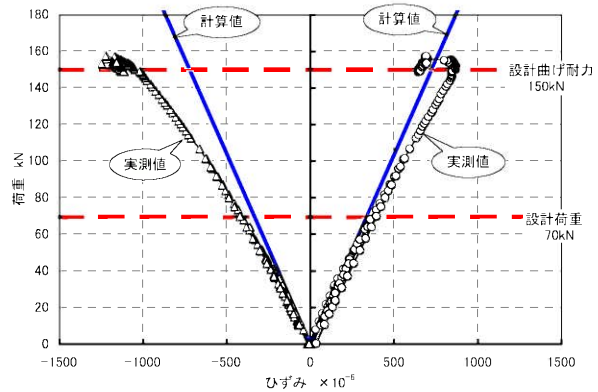


図 6.4 荷重-トラス筋のひずみの関係



## 7. 充填性確認試験

KS スラブは中空断面が大きく、部材も小さいためコンクリートの充填性が困難となる。そのため、KS スラブは高流動コンクリートを使用し、EPS には空気抜きを設けている。ここでは、空気抜きの形状を決定するために図 7.1 のような充填性確認試験を行った。

充填性確認試験の結果、空気孔なしでは深さ 1mm 程度の空気溜まりがあったものの大きな欠陥となる未充填箇所は見られなかった（写真 5.4）。一方、スリットありでは空気溜まりはほとんど確認できず（写真 5.3）、良好な充填性と打設時の目視確認のしやすさから、スリットありを標準仕様として採用した。

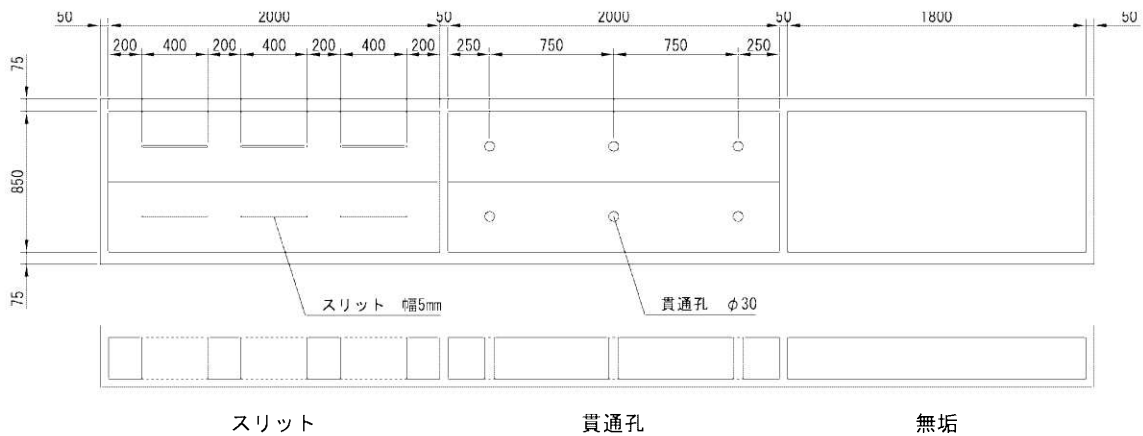


図 7.1 空気孔の種類と EPS の配置位置



写真 7.1 EPS (スリットあり)



写真 7.2 コンクリート打設



写真 7.3 充填確認 (スリットあり)



写真 7.4 充填確認 (空気孔なし)

8. 押抜きせん断に対する検討

頂版厚 70mm における押抜きせん断耐力と載荷面積の関係を検討する。

パラメーター：載荷面積

定数：頂版厚  $t=70\text{mm}$

コンクリート圧縮強度  $f'_c=50\text{N/mm}^2$

表 8.1 頂版厚 70mm での押抜きせん断耐力

			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	
部材寸法	版厚	$t(\text{mm})$	70													
使用材料	設計基準強度	$f'_c(\text{N/mm}^2)$	50													
	押抜きせん断強度	$\tau_p(\text{N/mm}^2)$	1.4													
載荷面	載荷面の長さ	$a(\text{mm})$	50	50	100	100	100	150	200	200	200	200	200	200	200	200
		$b(\text{mm})$	50	100	100	150	200	200	200	250	300	350	400	450	500	
	載荷面積	$A(\text{cm}^2)$	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	
	載荷面の周長	$u(\text{mm})$	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400	
	設計断面の周長	$u_p(\text{mm})$	420	520	620	720	820	920	1,020	1,120	1,220	1,320	1,420	1,520	1,620	
押抜きせん断耐力		$V_{cpd}(\text{kN})$	41.2	51.0	60.8	70.6	80.4	90.2	100.0	109.8	119.6	129.4	139.2	149.0	158.8	

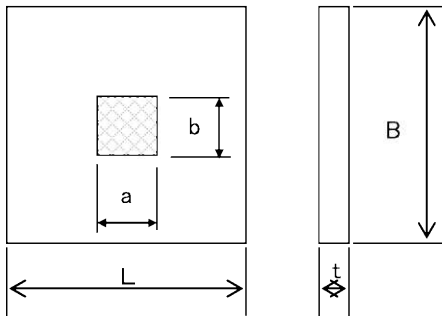


図 8.1 検討モデル

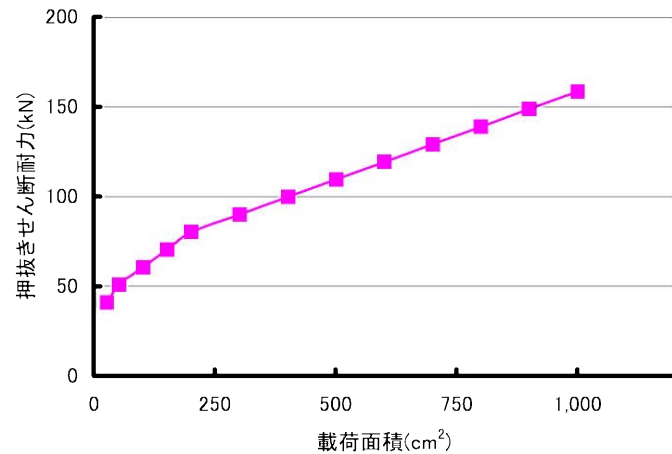


図 8.2 押し抜きせん断耐力と載荷面積の関係

9. 二酸化炭素排出量の削減効果

9.1. 検討モデル

下記の床版橋を対象として、CO<sub>2</sub>排出量を試算した。

表 9.1 対象構造物

	種別	橋長(m)	有効幅員(m)
ケース①	KS スラブ KS-10	10.540	5.000
ケース②	LS(軽荷重スラブ橋)桁 LS-9		

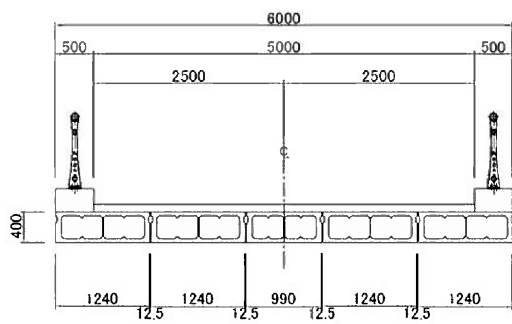


図 9.1 ケース① KS スラブ

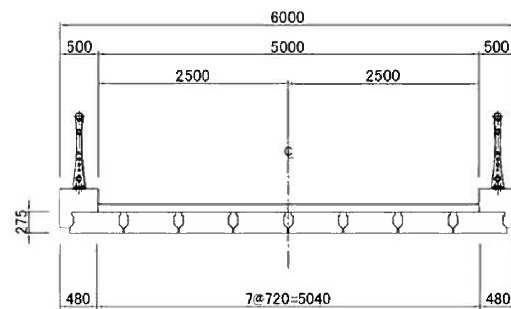


図 9.2 ケース② LS 桁

9.2. CO<sub>2</sub>排出量の試算結果

製品製作における CO<sub>2</sub> 排出量の試算結果を以下の表 9.2 に示す。

なお、KS スラブは 3H-CRETE（高流動）を用いている。

表 9.2 CO<sub>2</sub> 排出量の試算結果

項目		数量		CO <sub>2</sub> 排出量(kg・CO <sub>2</sub> )		備考	
		単位	KS スラブ	LS 桁	KS スラブ		LS 桁
主要資材	コンクリート <sup>参1)</sup>	m <sup>3</sup>	10.6	14.9	3395	6269	KS スラブ; $\sigma_{ck}=50N/mm^2$ LS 桁; $\sigma_{ck}=70N/mm^2$
		(t)	(26.5)	(37.2)			
	PC 鋼材	kg	347	1040	523	1567	KS スラブ; 1S15.2 LS 桁; 1S12.7
資材運搬*	燃料消費によるもの	時間	13.3	13.3	527	527	11t トラック
	機械消耗によるもの	時間	13.3	13.3	221	221	
機材使用	工場 <sup>参2)</sup>	t	26.5	37.2	454	637	電気 重油 軽油
合計		-	-	-	5447	9443	

\* 資材運搬距離は往復 200km を想定

試算結果より、LS 桁と比較して KS スラブは約 42.3%の CO<sub>2</sub> 排出削減が見込まれる。

○参考資料

参 1) 「使用したコンクリート配合毎の原単位」

①  $\sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$  (3H-CRETE 高流動タイプ)

表 9.3  $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ におけるCO<sub>2</sub>排出量

材料	m <sup>3</sup> あたり数量	生産過程原単位	小計
ポルトランドセメント	371 kg	0.83600 kg・CO <sub>2</sub> /kg	310.2 kg・CO <sub>2</sub>
高炉スラグ微粉末	159 kg	0.00000 kg・CO <sub>2</sub> /kg	0.0 kg・CO <sub>2</sub>
細骨材	797 kg	0.00565 kg・CO <sub>2</sub> /kg	4.0 kg・CO <sub>2</sub>
粗骨材	821 kg	0.00693 kg・CO <sub>2</sub> /kg	6.2 kg・CO <sub>2</sub>
合計			320.3 kg・CO <sub>2</sub>

②  $\sigma_{ck}=70 \text{ N/mm}^2$

表 9.4  $\sigma_{ck}=70\text{N/mm}^2$ におけるCO<sub>2</sub>排出量

材料	m <sup>3</sup> あたり数量	生産過程原単位	小計
ポルトランドセメント	490 kg	0.83600 kg・CO <sub>2</sub> /kg	409.6 kg・CO <sub>2</sub>
細骨材	678 kg	0.00565 kg・CO <sub>2</sub> /kg	3.8 kg・CO <sub>2</sub>
粗骨材	1052 kg	0.00693 kg・CO <sub>2</sub> /kg	7.3 kg・CO <sub>2</sub>
合計			420.8 kg・CO <sub>2</sub>

参 2) 「工場製作に伴うCO<sub>2</sub>排出量」

プレキャスト製品のCO<sub>2</sub>排出量の算出においては、工場での製作に伴う排出量が必要である。そこで、江津工場におけるエネルギー使用量の平成14年度実績から算出を試みた。

表 9.5 工場製作に伴うCO<sub>2</sub>排出量

項目	年間使用量	原単位	CO <sub>2</sub> 排出量	製品t当たりのCO <sub>2</sub> 排出量	備考
電力	250,000 kwh	0.473 kg・CO <sub>2</sub> /kwh	118,250 kg・CO <sub>2</sub>	4.55 kg・CO <sub>2</sub> /t	設備全般
重油	99,000 L	3.012 kg・CO <sub>2</sub> /L	298,188 kg・CO <sub>2</sub>	11.47 kg・CO <sub>2</sub> /t	蒸気養生
軽油	10,000 L	2.856 kg・CO <sub>2</sub> /L	28,560 kg・CO <sub>2</sub>	1.10 kg・CO <sub>2</sub> /t	機械

江津工場年間生産量 26,000t (平成14年度)