

北陸新幹線（長野・金沢間）のPC桁の設計について

— PC 標準設計桁と特殊橋梁 —

山東 徹生*1, 河瀬 日吉*2

北陸新幹線（長野・金沢間）のPC橋設計について、標準設計桁の変遷と特徴および特殊橋梁の実績を紹介する。新幹線事業では、計画路線ごとに標準設計を行い、事業の円滑な推進とコスト削減を図っている。当該区間では、地域特性に応じた雪害対策とその特徴を活かした4主桁合成構造の採用および平成16年の鉄道構造物等設計標準改訂に伴う耐久性向上に対する諸策を実施している。

キーワード：標準設計、限界状態設計法、RC標準、縦小梁形式、合成構造、スノーシェルター桁

1. はじめに

本稿は前稿の「北陸新幹線の整備概要」を受けた内容として、PC単純桁標準設計の概要のほか、特殊事例について紹介している。長野・金沢間のRC桁およびPC桁についても、高崎・長野間と同様に、区間特性に応じた標準設計を実施している。軽井沢・長野間のPC桁については本誌vol.34, No.6, Nov.1992“北陸新幹線PPC桁の設計”に報告されており参照されたい。なお、当該区間のPC桁は、限界状態設計法によりひび割れ制御設計された構造であり、以下PPC桁と記述する。

2. 標準設計の概要

前稿に報告したとおり、雪害対策は積雪深に応じて機械除雪併用貯雪（直型防音壁、半雪覆式）、散水式（加熱循環）に分けられ、供用中の上越新幹線、北陸新幹線（高崎・長野間）とは版上構造が大きく異なっている。長野・糸魚川間は散水区間のためPCT桁構造では37cmの路盤コンクリートを敷設しているが、糸魚川・金沢間は貯雪区間のため、PCT桁構造では79cm、PC箱桁およびRC高架橋では75cmの路盤鉄筋コンクリートを敷設し貯雪量を確保している。

標準設計は、他の新幹線路線と同じく4主桁構造25、

30、35mの3種類、6主桁構造40、45mの2種類について実施している。また、一部区間では橋面側方に縦小梁を設け高欄を支持する新しい形式を採用しているほか、4主桁では厚くなった路盤コンクリートを断面剛性として有効に評価した合成構造を採用している。

表 - 1 レールレベル (RL) ~床版高 (SL)

(単位: mm)

| 区 間 | 直線 (R = ∞) | | | 曲線 (R = 4000m) | | |
|---------|------------|----------|-----|----------------|----------|---------|
| | RL~SL | 路盤コンクリート | | RL~SL | 路盤コンクリート | |
| | | 幅 | 高さ | | 幅 | 高さ |
| 長野・糸魚川間 | 825 | 2420 | 370 | 825 | 2420 | 207~533 |
| 糸魚川・金沢間 | 1245 | 2420 | 790 | 1251 | 2420 | 627~953 |

3. 荷重および断面力

(1) 断面力の算出

プレキャスト桁自重による断面力は、単純梁として算出し、他の荷重は格子解析により求めている。

縦小梁を有するPC単純桁は、路盤コンクリート（下部）および場所打ち床版部を有効断面として換算した主桁と床版有効断面を考慮した縦小梁、端横桁および中間横桁により剛結される格子骨組部材としてモデル化して検討している。格子モデル支点条件は以下のとおりとした。

鉛直方向：バネ支承（試算により仮定）

水平方向：固定、可動

回転：自由

活荷重は、曲げ応力度検討荷重として支間の(3/4)L点の曲げモーメント ($M_p = 3 \cdot WbL^2/32$) から求まる等値換算分布荷重 Wb とせん断力最大値から求まる等値換算分布荷重 Ws を固定荷重として載荷している。

$$Wb = 32 \cdot M_p / (3L^2)$$

ここに Wb : 曲げ応力度検討荷重

M_p : 支間の(3/4)L点の曲げモーメント

L : 支間長

$$Ws = 2 \cdot S_{max} / L$$

ここに Ws : せん断・ねじり応力度検討荷重



Tetsuo SANTO

鉄道・運輸機構
設計技術部



Hiyoshi KAWASE

八千代エンジニアリング(株)
技術推進本部

S_{max} : 最大せん断力

(2) 衝撃荷重

平成 16 年版「鉄道構造物等設計標準・同解説」(以下 RC 標準)では、活荷重走行によるシミュレーション解析を評価した速度パラメータ a の適用見直し等により、支間長によっては衝撃係数が大幅に大きくなっている(図 - 1)。

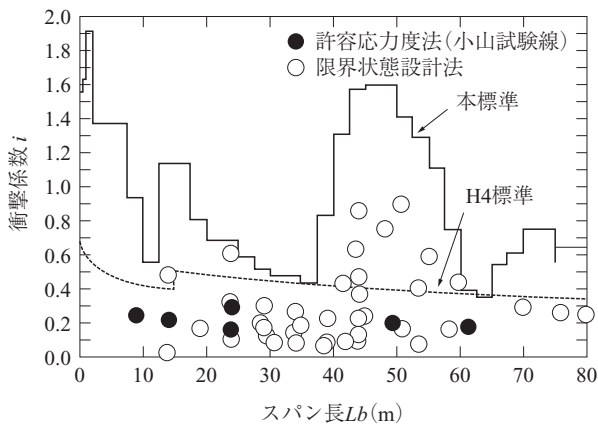


図 - 1 付属図 4.9 衝撃係数の測定値

設計衝撃係数

$$i = (1 + i_a) \cdot (1 + i_c) - 1 \dots \dots \text{RC 標準 4.4.1}$$

ここに、 i : 設計衝撃係数

i_a : 速度効果の衝撃係数

速度パラメータ a 、車両形式、車両長 L_v 、部材のスパン L_b を用いて、RC 標準付属資料 4 に示される図から求める。

$$a = v / (7.2 \cdot n \cdot L_b) \dots \dots \text{RC 標準解 4.4.2}$$

v : 車両の最高速度 (km/h)

n : 部材の基本固有振動数 (Hz)

L_b : 部材のスパン (m)

i_c : 車両動揺の衝撃係数

$$i_c = 10 / (65 + L_b) \dots \dots \text{RC 標準 4.4.2}$$

表 - 2 衝撃係数の新旧比較

| 桁長 (m) | 主桁数 | 旧標準 | | 新標準 | | | |
|-----------|------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|
| | | 単線載荷時 | 複線載荷時 | | 単線載荷時 | 複線載荷時 | |
| | | | 終局時 | 疲労破壊・使用性検討時 | | 終局時 | 疲労破壊・使用性検討時 |
| 25 | 4 主桁 | 0.600 | 0.527 | 0.592 | 0.521 | 0.391 | |
| 30 | | 0.600 | 0.512 | 0.444 | 0.379 | 0.285 | |
| 35 | | 0.600 | 0.497 | 0.437 | 0.363 | 0.272 | |
| 40 | 6 主桁 | 0.600 | 0.482 | 0.551 | 0.444 | 0.333 | |
| 45 | | 0.600 | 0.467 | 1.567 | 1.222 | 0.917 | |

ここに、旧標準は軽井沢・長野間の実績を示す。

(3) 荷重と抵抗断面

荷重と抵抗断面の関係は表 - 3 に示すとおりである。

(4) 荷重載荷材齢とクリープ係数

合成構造ではプレキャスト桁と合成する部材との材齢差

表 - 3 荷重と抵抗断面

| 荷重 | 抵抗断面 |
|-----------------------|--------------------|
| プレキャスト桁自重 | プレキャスト桁(1) |
| 横桁、縦小梁、桁間目地、張出しコンクリート | プレキャスト桁(2) |
| 路盤コンクリート(下部) | 場所打ち床版換算断面 |
| 排水勾配コンクリート | |
| その他版上荷重 | 路盤コンクリート換算断面(合成断面) |
| (路盤コンクリート(上部)、高欄、ダクト) | |
| 活荷重+衝撃荷重 | |

ここに、プレキャスト桁(1):純断面(シース孔控除、鉄筋考慮)
プレキャスト桁(2):鋼材換算断面(PC鋼材考慮)

によるクリープの影響が構造に大きく影響するため、計算上の仮定材齢の決定が重要となる。

標準設計では、表 - 4 に示すとおりとした。ただし、この値は、各桁の平均材齢を示すものである。

表 - 4 荷重載荷材齢とクリープ係数

| | 荷重載荷材齢 (日) | クリープ係数 | |
|------------------|---------------|--------|-----|
| | | 旧標準 | 新標準 |
| プレストレス導入時 | 4~7 | 2.6 | 2.7 |
| 桁架設、横組工、床版工 | 90 | 2.0 | 2.0 |
| 路盤コンクリート打設(合成構造) | 120 | 1.6 | 1.7 |

ここに、旧標準:平成 11 年 10 月 鉄道構造物設計標準・同解説
新標準:平成 16 年 4 月 鉄道構造物設計標準・同解説

(5) 合成桁としての設計上の考え方

合成構造の解析は、道路橋示方書の合成けた橋の項に準じている。

PC プレキャスト桁は桁間床版・横組工・路盤コンクリート(下部)と合成された時点で、クリープ、乾燥収縮の差により 2 次的な内部応力が発生し、乾燥収縮差により発生する応力は主桁には不利(上フランジ圧縮)に作用し、クリープ差によるものは有利(上フランジ引張)に作用する。クリープ差による 2 次力は乾燥収縮値より大きく、合計では有利に作用する。すなわち、路盤コンクリート合成後に、コンクリートのクリープによって路盤と桁が一体打ちされた状態の応力状態に近づこうとする応力が発生すると考える。

(6) 主桁と床版の温度差について

一般に道路橋では、日射の影響により床版上面と他の部材では 5~15℃の温度差が生じると考え、床版と桁の平均温度差を 5℃として温度応力を算定しているが、鉄道橋では、防音壁、路盤コンクリートおよびダクト等によりその影響は小さくなるとして、連続桁も含めて温度差応力は考慮していない。

4. 貯雪型標準設計 PPC 桁

4.1 断面の特徴

当該区間の PPC 桁の特徴は以下の 2 項目である。

- 合成構造:4 主桁構造では路盤コンクリートとプレキャスト部を一体とする合成構造とした。(従来同様、6 主桁構造は非合成構造である。)

・縦小梁の設置：1999（平成 11）年当初の貯雪タイプでは防音壁設置受け梁として張出し床版端に縦小梁を設置していたが、施工性改良を目的に場所打ち地覆による防音壁支柱支持方式が開発され、2002（平成 14）年に縦小梁形式を廃止した。

4.2 4 主桁構造

糸魚川～金沢間に計画された 25, 30, 35 m の 4 主桁構造では、路盤コンクリート下にプレキャスト桁を配置した合成構造としている。この結果、桁高低減および橋脚天端幅の縮小によるコスト縮減が図られた。

合成断面として評価する部位は下部路盤コンクリート 540 mm であり、その直上に上部路盤コンクリートを打設し、スラブ軌道を敷設する構造である（図 - 2）。

標準設計桁は、H11 縦小梁有り構造、H14 縦小梁無し構造、H17 縦小梁無し構造の 3 タイプに大きく分類され、H17 は H14 のかぶり修正、および 2004（平成 16）年の RC 標準改定に準じた変更を行っている。

表 - 5 4 主 PPC 桁 (R = 4 000 m) の比較表

| | ① 縦小梁有り(富山～石動) | | | ③ 縦小梁無し(黒部～富山) | | |
|---------------|--------------------|------|------|--------------------|------|------|
| | 25 | 30 | 35 | 25 | 30 | 35 |
| 桁長 (m) | 25 | 30 | 35 | 25 | 30 | 35 |
| 全幅 (m) | 11.8 | | | 11.76 | | |
| プレキャスト桁全幅 (m) | 7.2 | | | 7.2 | | |
| 桁間隔 (m) | 1.65 + 2.65 + 1.65 | | | 1.65 + 2.65 + 1.65 | | |
| 桁高 (m) | 2.00 | 2.40 | 2.70 | 2.10 | 2.40 | 2.70 |
| 床版厚 (m) | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| フランジ幅 (m) | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.25 |
| ウェブ幅 (m) | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 主ケーブル本数/桁 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 |

(1) 石動・金沢間 標準設計桁 (L = 30 m ; 曲線)

石動・金沢間の 4 主桁 PPC 桁はプレキャスト部と路盤コンクリートを一体とした合成構造を採用し、床版端部には防音壁支持のために高さ 700 mm、幅 600 mm の縦小梁を配置している。

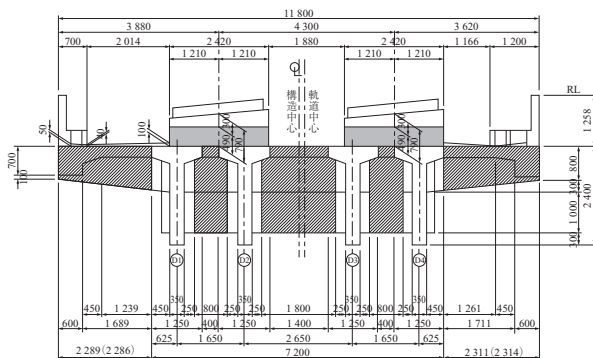


図 - 2 石動・金沢間 標準設計桁 (4 主桁 PPC 桁)

(2) 黒部・富山間 標準設計桁 (L = 30 m ; 曲線)

黒部・富山間の 4 主桁 PPC 桁も桁配置は同様として合成構造を採用しているが、縦小梁の廃止と耐久性向上を目的にかぶり 50 mm を確保し床版厚は 300 mm とした。

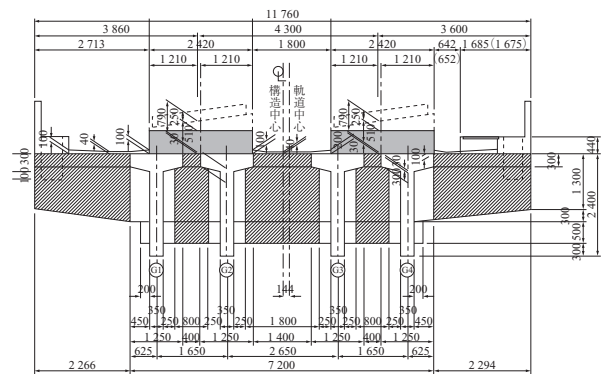


図 - 3 黒部・富山間 標準設計桁 (4 主桁 PPC 桁)

(3) 施工順序

石動・金沢間および糸魚川・魚津間の縦小梁を有する桁では、縦小梁用の支保工が必要となり、交差条件下ではプレキャスト桁上に特殊な吊支保工を設置して施工が行われた。4 主桁における標準的な施工順序は以下のとおりである。

- ① プレキャスト桁製作 (40 N/mm²)
- ② プレキャスト桁架設 (クレーン架設またはガーダー架設)
- ③ 合成断面部分；桁間目地、路盤コンクリート (下部)、横桁等の打設 (30 N/mm²)
- ④ 横組工打設用架設桁の設置
- ⑤ 張出し床版、縦小梁、横桁等の打設 (30 N/mm²；吊支保工架設)
- ⑥ 版上構造 (ダクト、排水勾配コンクリート、路盤コンクリート (上部) の打設)
- ⑦ 地覆打設
- ⑧ 防音壁パネル設置
- ⑨ 軌きょう (軌道スラブ、レール) 敷設
- ⑩ 電柱、架線、信号ケーブル等敷設



写真 - 1 張出し床版配筋作業

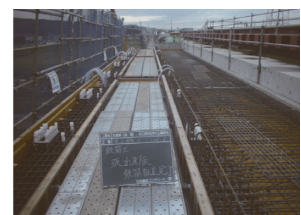


写真 - 2 張出し床版配筋状況

⑤ の張出し床版、縦小梁の支保工について図 - 4 に参考例を示す。

(4) 主桁と路盤コンクリートの結合

本構造の特徴は、図 - 5 に示すとおりプレキャスト桁のスターラップが下部路盤コンクリートと一体で配筋されており、プレキャスト桁と路盤コンクリートの材齢差により生じるせん断力に対して他の上フランジのずれ止め鉄筋とともに兼用している。

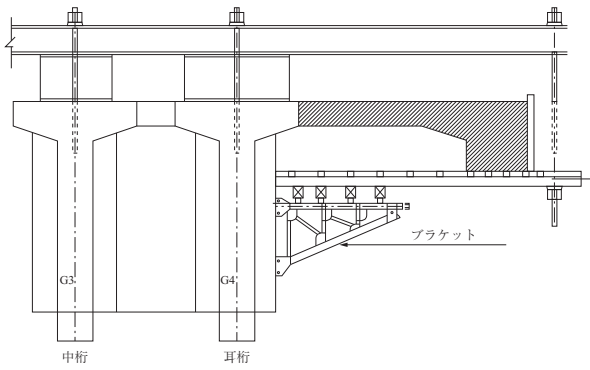


図 - 4 張出し床版，縦小梁支保工例

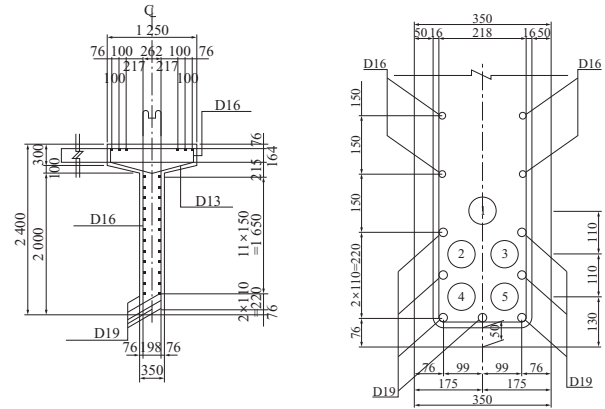


図 - 6 支間中央断面 ($L = 30$ m)

(5) 設計結果

図 - 5 ~ 11 に黒部・富山間の $L = 30$ m の標準設計成

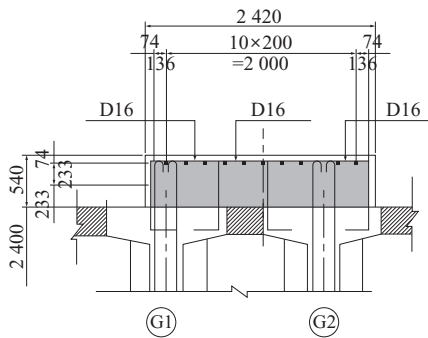


図 - 5 プレキャスト桁と路盤コンクリートの接合 ($L = 30$ m)

果を示す。端横桁の狭隘な箇所にストッパー，補強筋を配置するため確実な施工が求められる。また，従来に比較し主桁間隔が狭く張出し床版長が長いので，施工時の安定確保に注意した施工が行われている。

4.3 6 主桁構造

糸魚川・金沢間に計画された 40, 45 m の 6 主桁構造では，従来と同様の非合成構造とした。石動・金沢間では当初縦小梁を設置していたが，4 主桁同様廃止し，かぶり修正，RC 標準改定に合せた変更が行われている。

(1) 石動・金沢間 標準設計桁 ($L = 40$ m)

石動・金沢間の 6 主 PPC 桁では，当初プレキャスト桁上フランジ全幅 8.0 m の両側に 1.9 m の張出し床版を打設し，床版端部には 4 主桁同様高さ 700 mm，幅 600 mm の

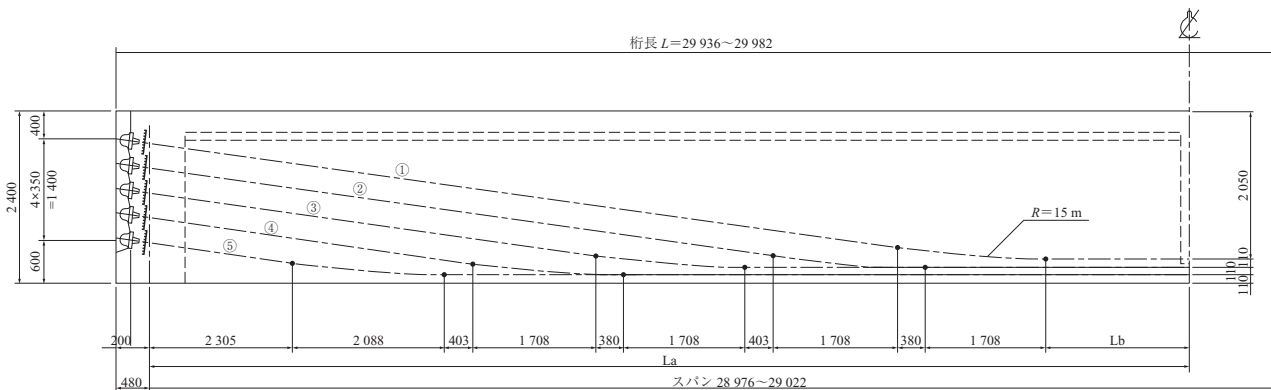


図 - 7 プレキャスト桁の PC ケーブル配置 ($L = 30$ m)

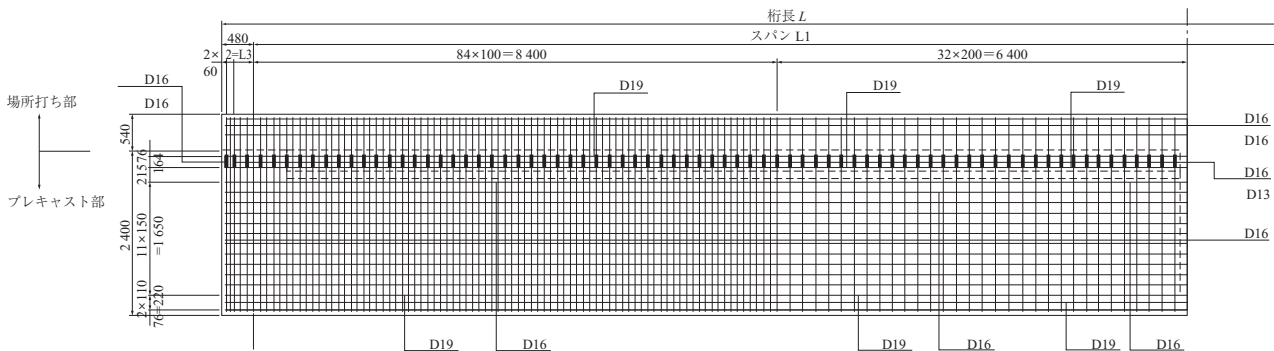


図 - 8 プレキャスト桁の鉄筋配置 ($L = 30$ m)

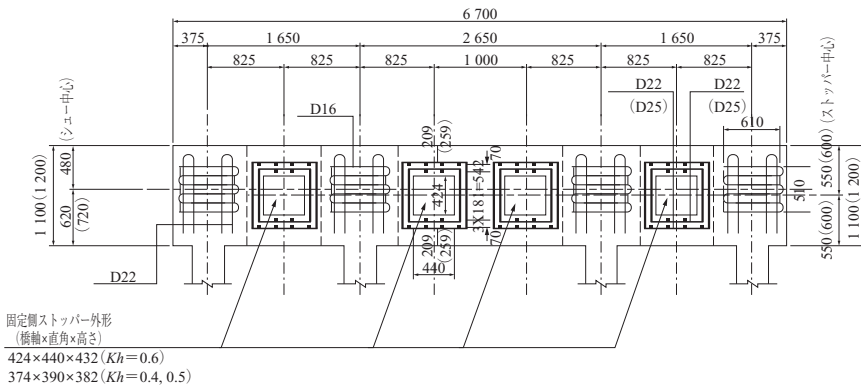


図 - 9 固定側平面図 (L = 30 m)

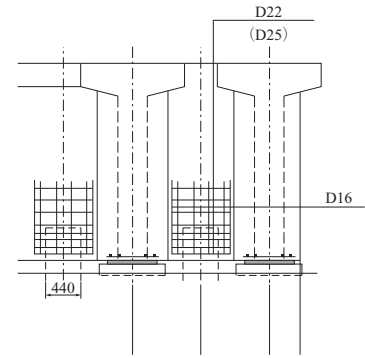


図 - 10 固定側断面図 (L = 30 m)

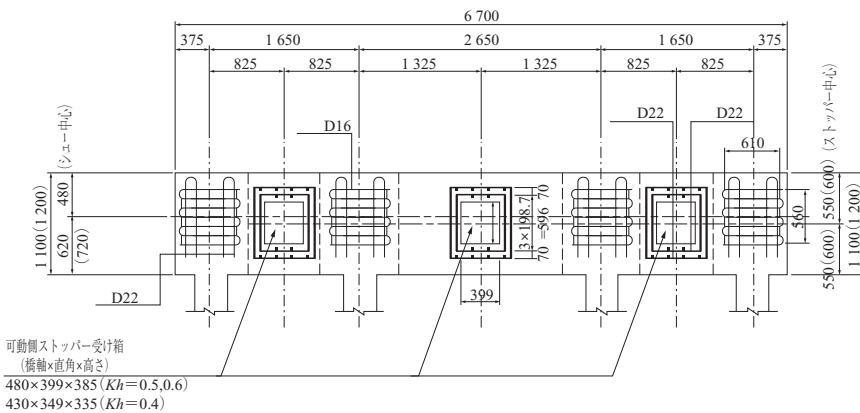


図 - 11 可動側平面図 (L = 30 m)

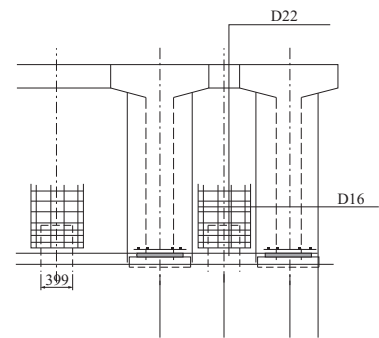


図 - 12 可動側断面図 (L = 30 m)

表 - 6 6主 PPC 桁曲線桁 (R = 4 000 m) の比較表

| | ① 縦小梁有り (石動～金沢) | | ③ 縦小梁無し (黒部～富山) | |
|---------------|-------------------|------|------------------|------|
| | 40 | 45 | 40 | 45 |
| 桁長 (m) | 40 | 45 | 40 | 45 |
| 全幅 (m) | 11.8 | | 11.76 | |
| プレキャスト桁全幅 (m) | 8.00 | | 8.90 | |
| 桁間隔 (m) | 5 @ 1.400 = 7.000 | | 5 @ 1.55 = 7.750 | |
| 桁高 (m) | 2.90 | 3.10 | 2.90 | 3.20 |
| 床版厚 (m) | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.30 |
| 上フランジ幅 (m) | 1.00 | 1.00 | 1.15 | 1.15 |
| ウェブ幅 (m) | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 主ケーブル本数 / 桁 | 7 | 8 | 7 | 8 |

縦小梁を設置していた。間詰め床版幅は D13 の定着長を考慮し 400 mm としている (図 - 13)。

(2) 黒部・富山間 標準設計桁 (L = 40 m)

黒部・富山間の 6 主 PPC 桁では、プレキャスト桁上フランジ全幅 8.9 m と張出し床版長を短くし、縦小梁を廃し、床版厚を 250 mm から 300 mm、かぶりを 40 mm から 50 mm に修正している。

上フランジ幅を 1.0 m から 1.15 m に拡大し、間詰め床版幅は 400 mm を確保している。桁間隔を 150 mm 拡大したことによりストッパーおよび補強筋配置を改善している (図 - 14)。

4.4 縦小梁構造

(1) 縦小梁の評価

石動・金沢間の標準桁に採用した縦小梁を有する桁における床版の解析について詳述する。

床版の検討では、プレキャスト桁ウェブ付け根と縦小梁端までを床版部材とし、縦小梁中心を弾性支点、または支点とする梁の 2 ケース検討し、支点部および支間部の断面を算定している。ここに、支点のバネ定数は、格子計算から求まる外桁と縦小梁との相対変位量から換算して算出している。縦小梁は、RC 断面として格子計算により求まる断面力から断面を決定している。

なお、中間床版の検討は従来同様、主桁中心を支点とし負の曲げモーメントに対しては主桁上を完全固定、正の曲げモーメントに対しては支点の固定度を 80 % (完全固定時断面力の 140 %) と仮定した断面力により検討している。

5. 特殊橋梁

5.1 側方開床式単純 PPC 桁 (第 1 浦川端高架橋)

側方開床式は桁の側方に投雪板を設置して開口部から除雪する方式で、一般には支保工架設による RC 桁、ラーメン高架橋に採用され、桁下への投雪が支障しない箇所

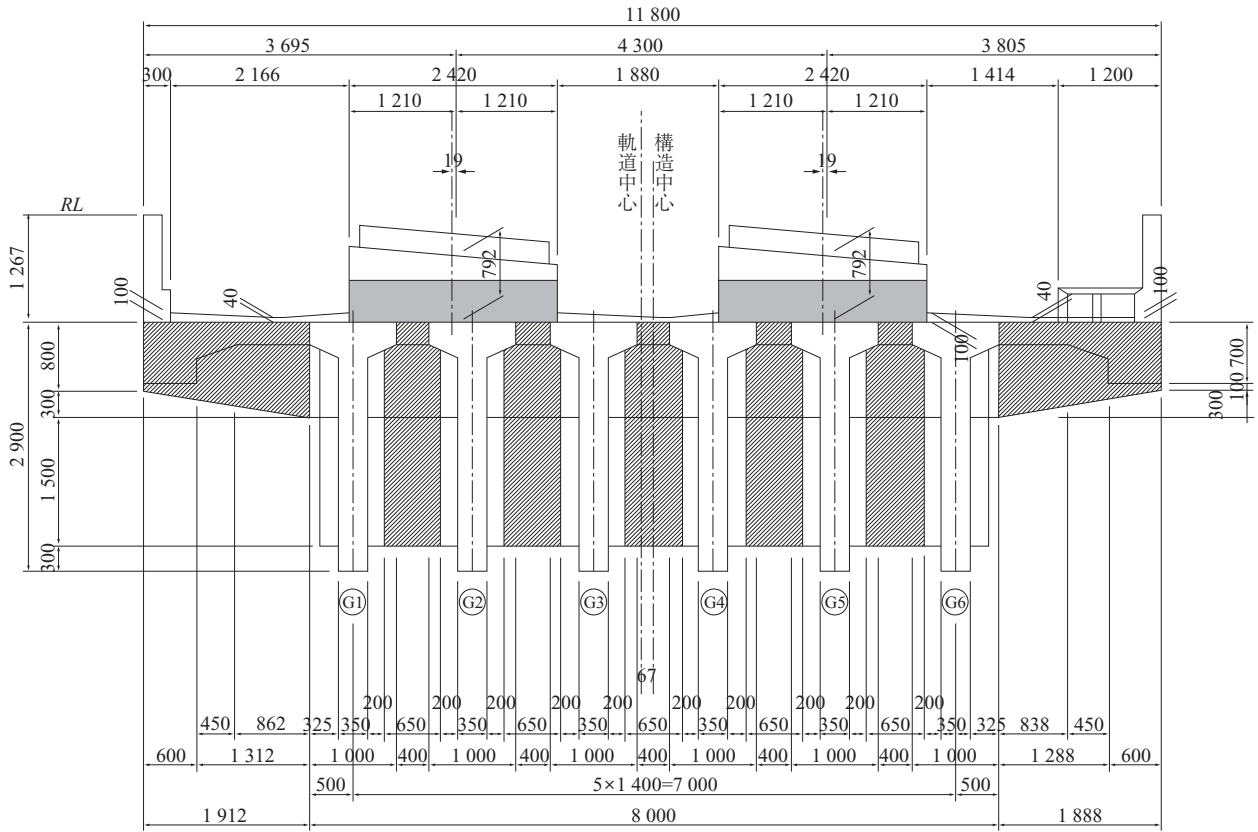


図 - 13 富山・石動間 標準桁 (6主桁 PPC 桁 $L = 40$ m)

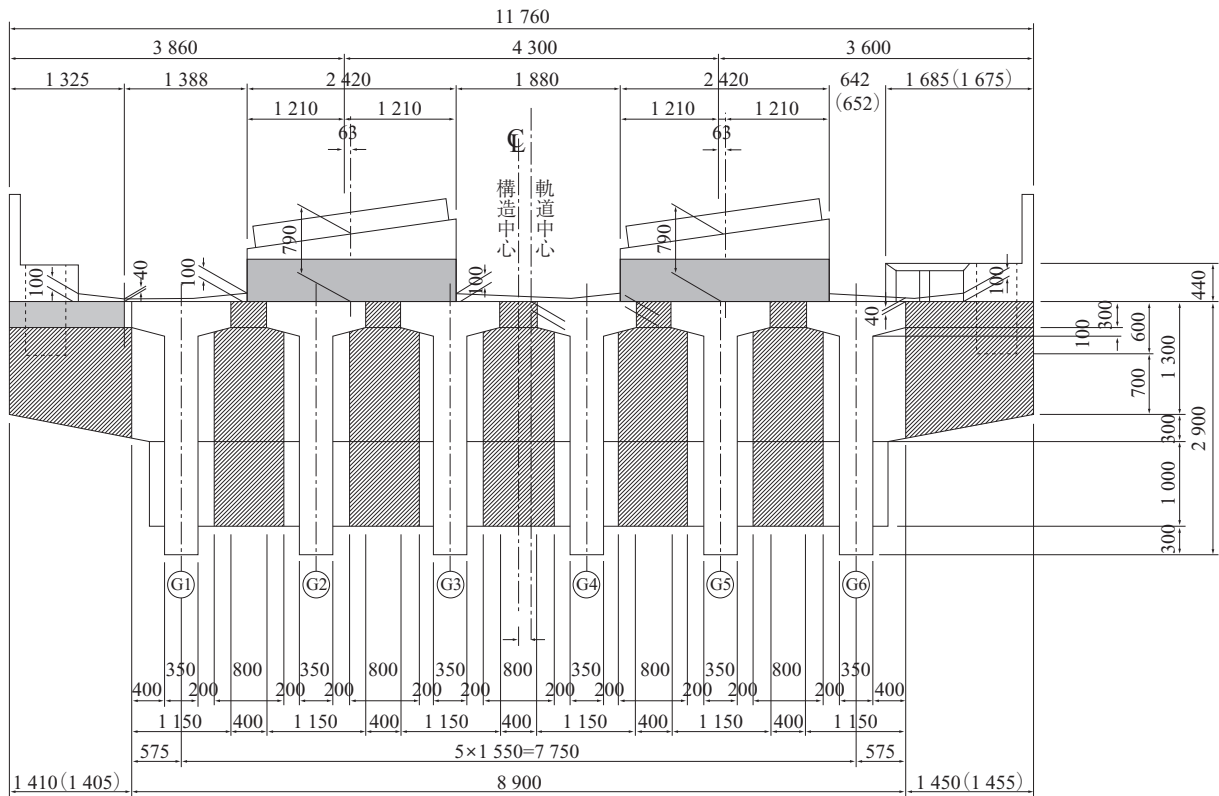
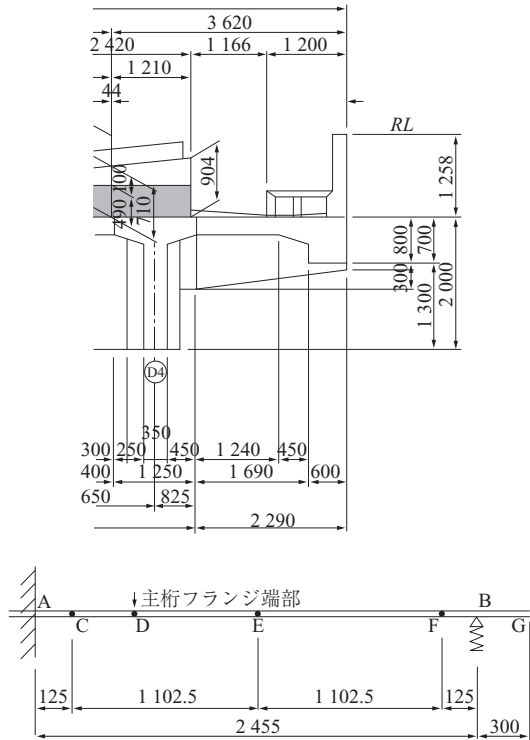


図 - 14 黒部・富山間 標準桁 (6主桁 PPC 桁 $L = 40$ m)



検討において、B 支点の支点条件を 2 ケース設定する。
 ケース 1：水平固定、鉛直固定、回転自由（支間部の正曲げモーメント検討用）
 ケース 2：水平固定、鉛直バネ、回転自由（支点端部の負曲げモーメント検討用）
 ※バネ定数の算出について
 ① 格子計算による張出床版部の主桁格点および床版格点の鉛直変位量の相対変位を算出する。
 ② 主桁格点の回転角および相対変位量を算出する。
 ③ 相対変位量と等値となる片持ち梁での荷重を求める。
 ④ 片持ち梁に設計荷重を作用させた場合の変位量を算出する。
 ⑤ 縦桁の影響を考慮した鉛直バネ定数を算出する。

図 - 15 縦小梁を有する張出し床版の検討

置される。

PPC 桁ではまれなケースであり、道路交差点との桁長調整桁として使用された（図 - 16）。プレキャスト桁以外の部材は、足場式支保工により施工されている。

5.2 桁長 50 m の 8 主単純 PPC 桁（河原市用水橋梁）

金沢市内の河原市用水に架けられた桁長 50 m の PPC 単純 T 形桁である。上フランジ幅が 1 100 mm と狭く施工時の横座屈対策等が講じられている。床版の間詰め幅に鉄筋継手長が確保できないため、横締め PC 鋼材（1S21.8）が配置されている（図 - 17）。



写真 - 3 側方開床桁 (1)



写真 - 4 側方開床桁 (2)

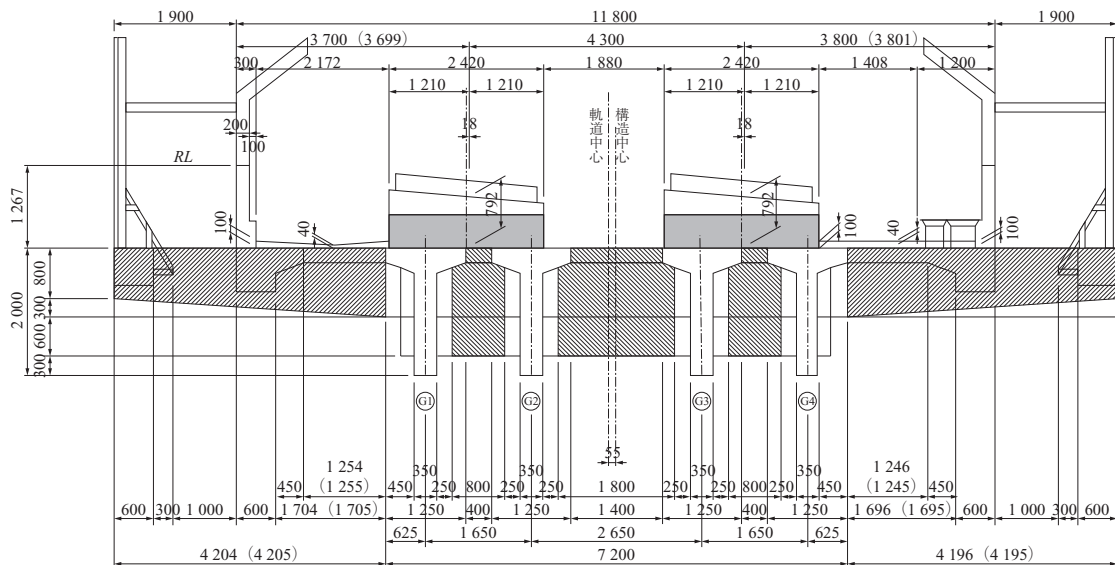


図 - 16 $L = 20$ m 開床式 4 主 PPC 桁構造

表 - 7 雪荷重 (糸魚川・中央川橋梁など)

| 期待年数 | 積雪深 |
|---------|--------|
| 2年 | 110 cm |
| 10年 | 225 cm |
| 20年期待値 | 260 cm |
| 30年期待値 | 300 cm |
| 100年期待値 | 380 cm |

∴雪の比重: $\gamma = 3.4 \text{ KN/m}^3$

5.3 鋼製スノーシェルター設置桁 (糸魚川・中央川橋梁)

桁長 35 m の PPC 単純桁で両端をトンネルに挟まれた瞬き区間に配置された橋梁である。架設は架設桁により縦取り架設された。製作ヤードはトンネル内を利用している。スノーシェルター荷重として付加死荷重; 27 KN/m・片側を考慮している。

一般図に示すとおり、桁長 35 m の 4 主 T 形桁の場合、中間横桁 2 箇所に加えスノーシェルター支持梁をほかに 8

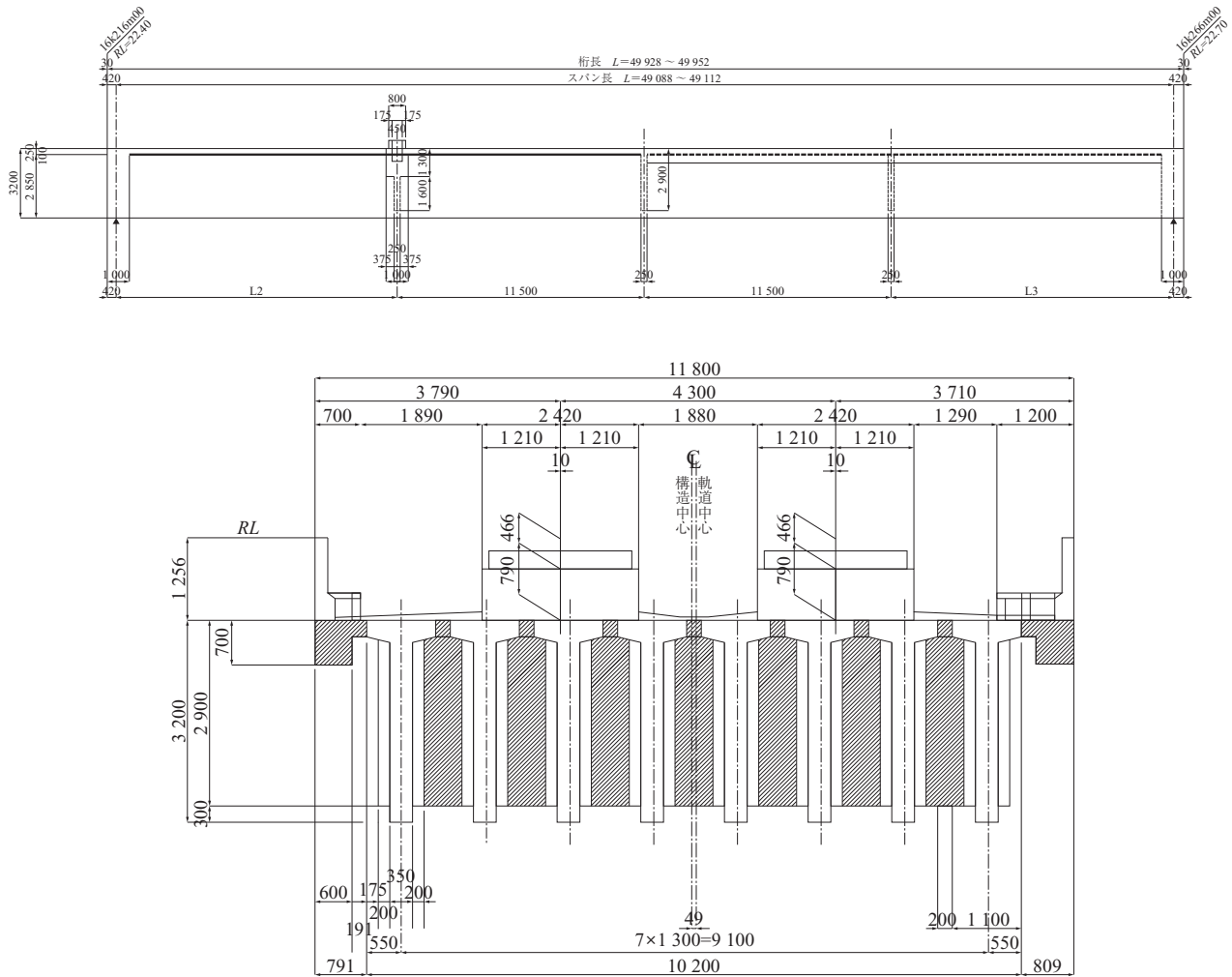


図 - 17 L = 50 m 8主 PPC 桁構造



写真 - 5 PC 桁製作



写真 - 6 PC 桁架設

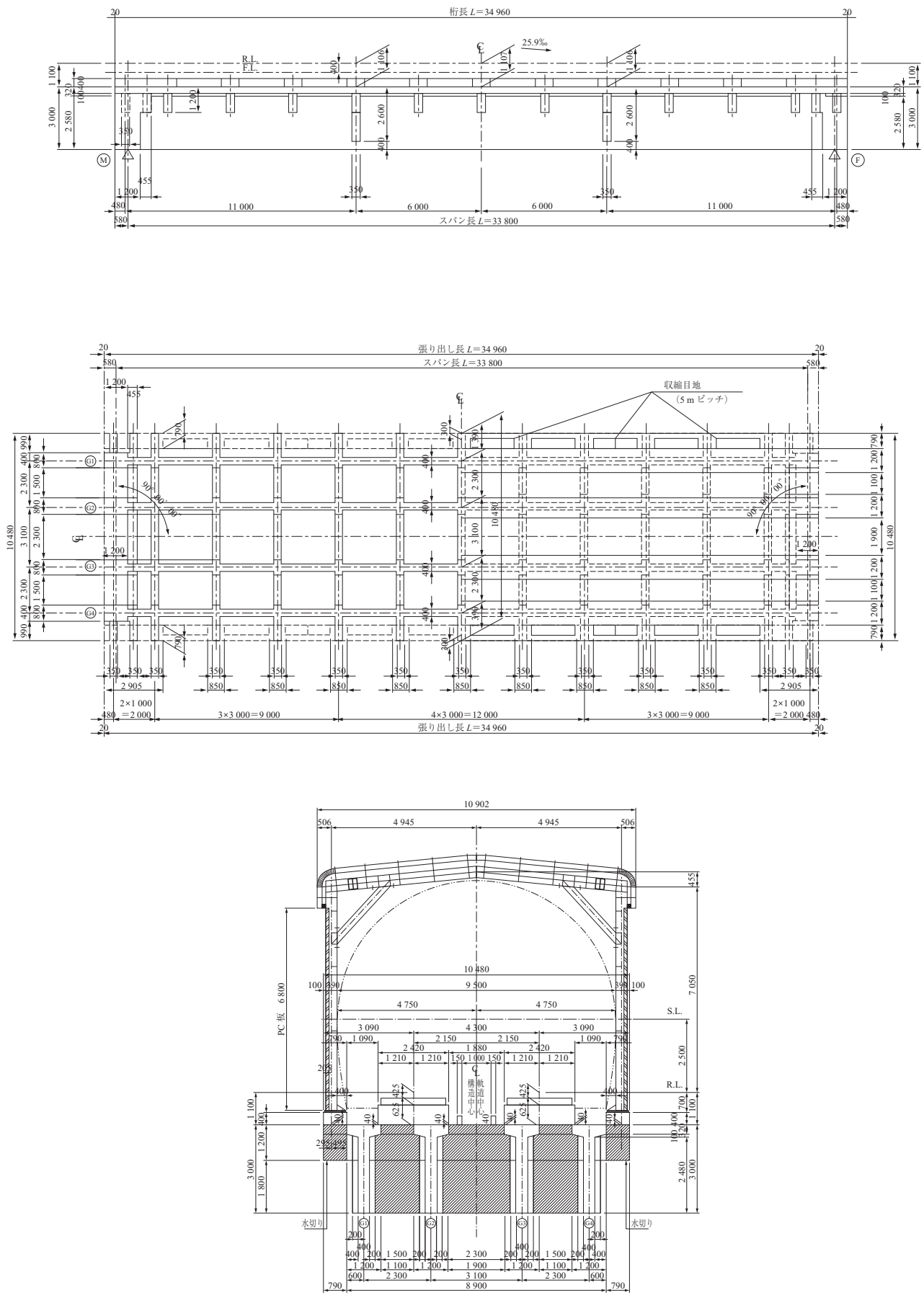


図 - 18 鋼製スノーシェルター桁 ($L = 35\text{ m}$ 4主桁PC桁)

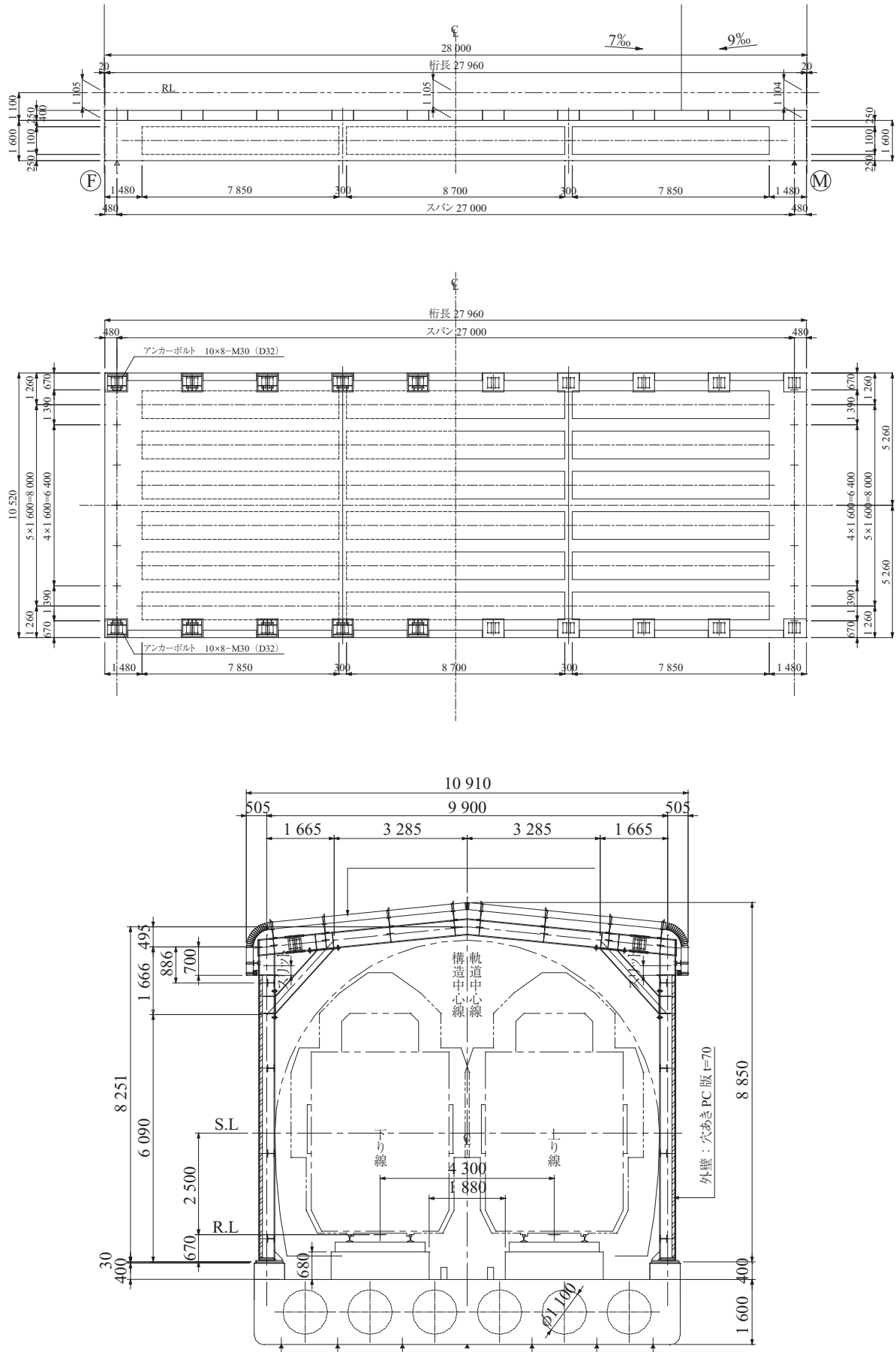


図 - 19 鋼製スノーシェルター桁 (L = 28 m PC ホロー桁)

