

とくしま
橋はじ
ものがたり

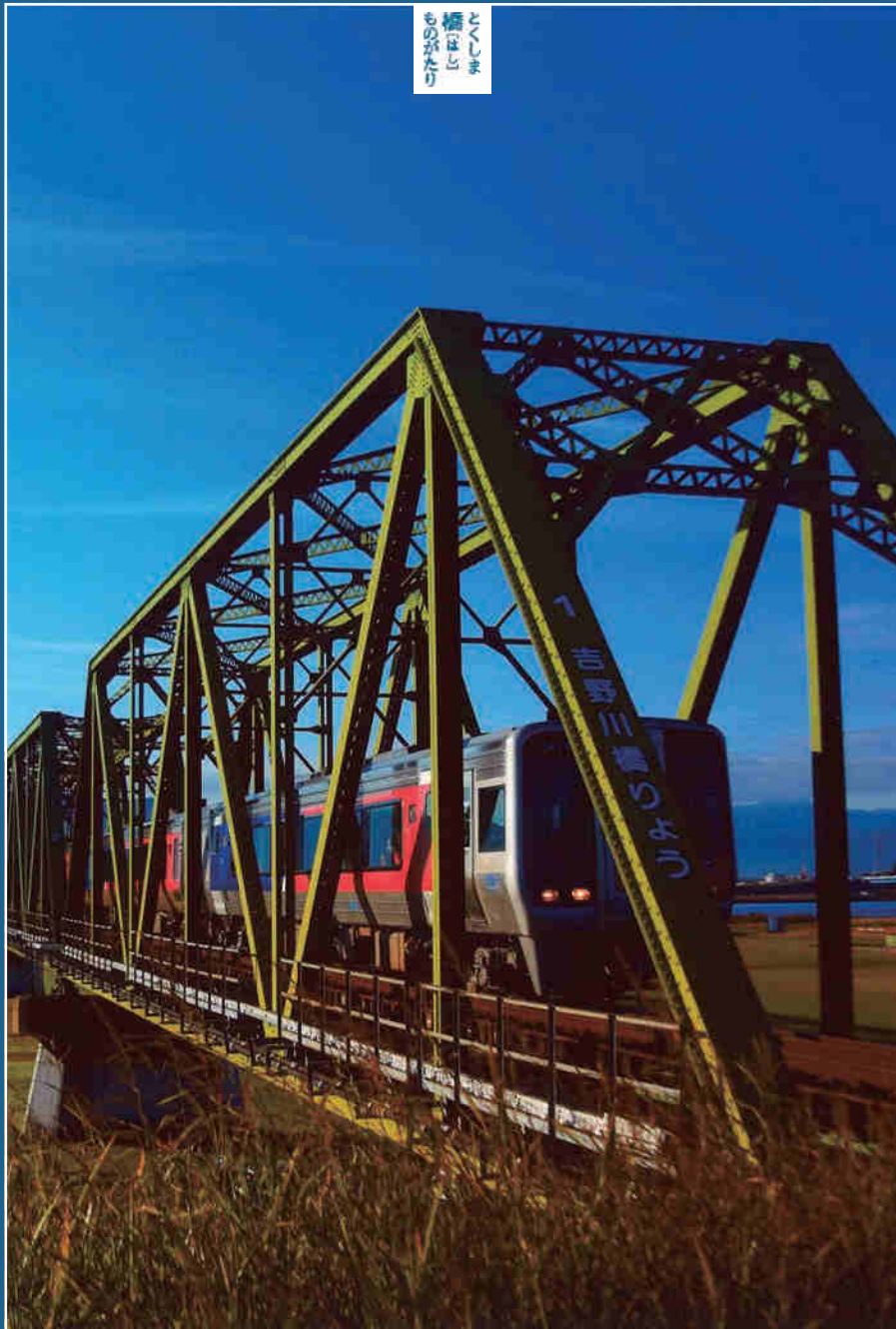
吉野川橋梁史

詳細版

6橋梁



とくし
橋ほど
ものがたり



吉野川に架かる橋フォトコンテスト／「徳島発」(吉野川橋りょう(高德線))



※「穴吹橋」は、新橋に架けかえられている。

④ 吉野川橋りょう(高德線)

徳島県内の吉野川に架かる4つの鉄道橋のうち、最も下流に架かる橋梁が吉野川橋りょう(高德線)である。(写真1、図1)

高松市と徳島市を結ぶ高德線の吉成・佐古駅間に架かる、四国に現存する最も長い鉄道橋である。

橋長は949mで、214・4mの3径間連続平行弦鋼ワーレントラス橋と、両端の46・4mの単純平行弦鋼ワーレントラス橋で構成される。

鉄道橋として日本初の3径間連続トラス橋で、昭和9年(1934)の完成当時は全国第5位の長大鉄道橋であった。「日本国有鉄道百年史」や各種の橋梁関係の書籍でも紹介された。この連続構造の技術は、30年ほど後に登場する、東海道新幹線の橋梁建設技術へとつながっていく。^[3]

以下に吉野川橋りょう(高德線)の架橋にまつわる歴史や架橋技術について紹介する。

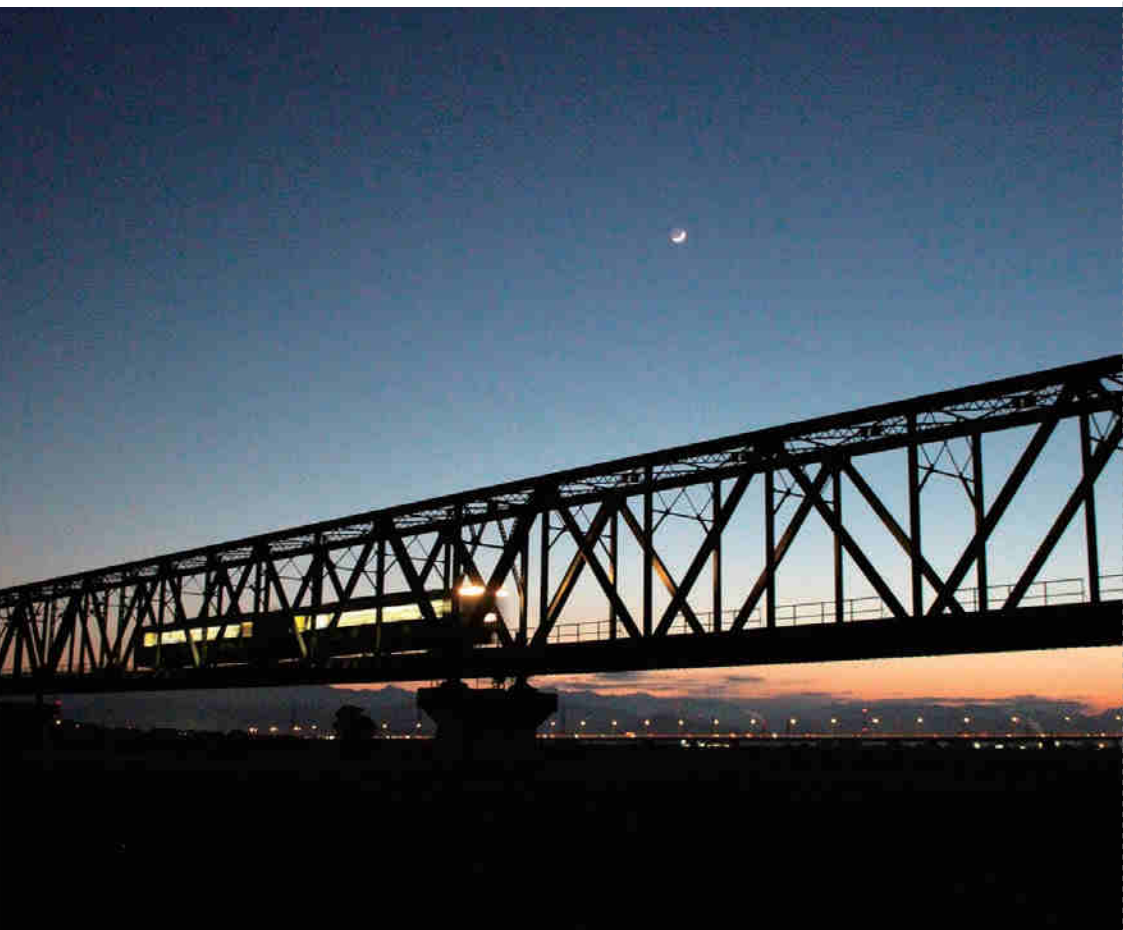
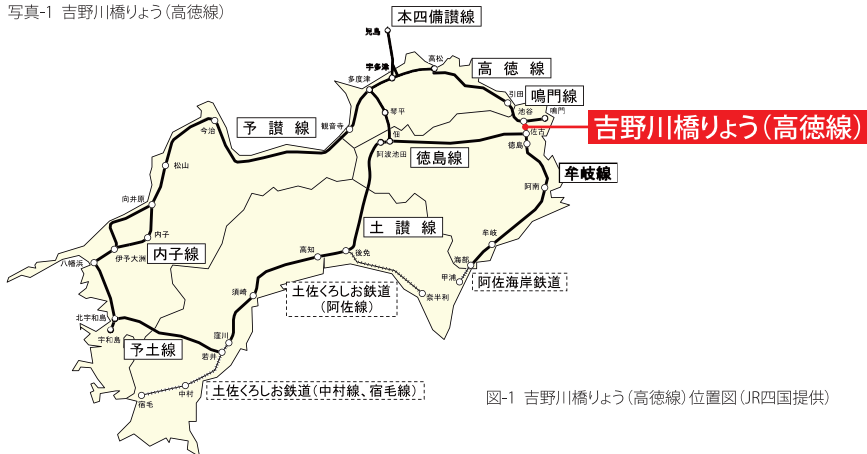


写真-1 吉野川橋りょう(高德線)



単純平行弦鋼ワーレントラス橋
橋の径間が1径間、上弦材と下弦材が平行で、斜材が「W」形のトラス橋。

3径間連続平行弦鋼ワーレントラス橋
単純平行弦鋼ワーレントラス橋に対して3径間の橋桁を一体化して連続させた構造のトラス橋。

鉄道橋について

鉄道橋の列車荷重は、道路橋の自動車荷重と比べて大きい。そのため、鉄道橋は道路橋よりも橋桁を高く、部材を厚くする必要があるので。(図2-1、2-2、3、4)

設計当時、鉄道橋の設計に使用する設計荷重にはKS荷重(蒸気機関車荷重)が用いられた。同荷重は昭和3年(1928)に「鋼鉄道橋設計示方書」の改訂により定められた列車荷重である。同62年(1987)の国鉄分割民営化に伴い、鉄道関連の法令や技術基準が大幅に改編、改訂されたため、現在同荷重は使用されていない。

鉄道は勾配による制限が厳しいため、急激な比高の変化には適さない。橋梁の下面と線路の高さの差で表す構造高(図

1)をできる限り低く抑える構造が望まれる。そのため、鉄道橋には下路形式が多い。

道路の勾配は百分率を用いるのが一般的であるが、鉄道では千分率をもって示す。(道路ではパーセント1/100、鉄道ではパーミル1/1000で表す)

鉄道橋は、用途によって呼び名が異なる。以下は一般的に用いられている鉄道橋の呼び方であるが、河川や海を渡る「橋梁」は常用漢字ではないため、旧日本国有鉄道では「橋りょう」とひらがな併記を原則としていた。

高架橋(Bv)：列車が道路を渡る橋である。高架式の鉄道で見られるほか、地上を走る鉄道でも道路が線路の

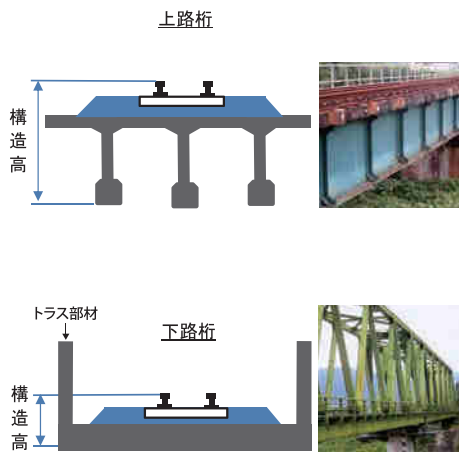
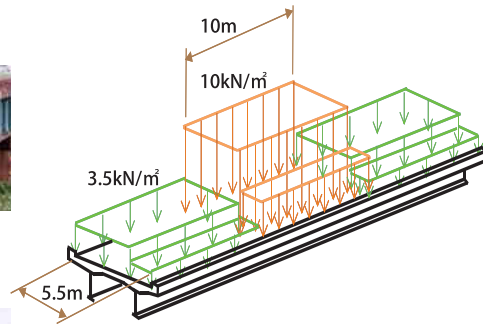


図5 上路桁及び下路桁の構造高



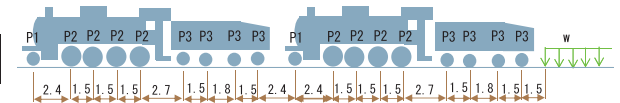
L荷重として多数の自動車荷重をモデル化したものが、主桁や主構など橋全体の設計に用いられる。

図4 自動車

■KS荷重(蒸気機関車荷重)

K-18	P1(t)	P2(t)	P3(t)	W(t/m)
	先従輪	動輪	炭水車	客貨車
	9	18	12	6

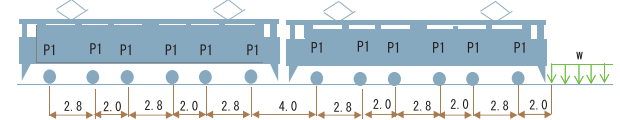
図-2.1 蒸気機関車



■EA荷重(新型機関車荷重)

E-17	p1(kN)	w(kN/m)
	170	50

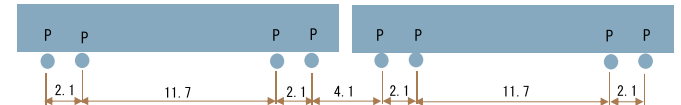
図-2.2 新型機関車



■M荷重(旅客列車荷重)

M-18	p(kN)
荷重	180

図-3 旅客列車



活荷重(鉄道橋)

橋を設計する場合、あらゆる荷重を想定しなければならない。鉄道橋の場合は、通行する列車の重量、橋桁(はしげた)そのものの重量、地震によって橋に働く慣性力(かんせいりょく)などが挙げられる。このうち列車の重量は、人に乗せる車両から荷物などを運ぶ貨物列車などの条件によってさまさまで、そのうえ重量の作用する位置が時間によって変わる性質がある。このように荷重の大きさが一定ではないものを、作用する位置が変わるものを「活荷重」と呼ぶ。

比高

ある地域内にある2地点の高低差。

下を通っている場合は、架道橋と呼ばれる。

線路橋（BI）：列車が線路を渡る橋である。路線が分岐する駅などで立体交差した場合や、別系統の鉄道が立体交差する場合に見られる。跨線線路橋とも呼ばれる。鉄道道路併用橋：鉄道と自動車の両方が通行する橋のこと。

吉野川橋りょう(高德線)の建設までの道のり

JR四国の高徳線は、高松市・徳島市間の74kmを結ぶ。昭和3年(1928)4月に高松側の高松・引田駅間、同8年(1933)7月には阿波電気軌道を国

有化して板野・吉成駅間を編入し、さらに同10年(1935)3月、引田・板野駅間の徳島側と吉成・佐古駅間の開通によつて全線が開通した。(図6)

阿波電気軌道は、徳島と鳴門を結ぶ目的で、大正5年(1916)に古川・中原・吉成・池谷・撫養駅間を開業させた。しかし、吉野川での架橋ができず、中原から徳島市内の富田橋(現在の新町橋)までは、吉野川連絡船と呼ばれた巡航船で連絡していた。

高徳線は、大正12年(1923)1月の起工から完成まで12年の歳月を要した。昭和10年(1935)3月の営業開始時には、高松・徳島の両市において盛大に祝賀会が行われ、その様子は当時の徳島毎日新聞の記事で紹介されている。[1][2]

[1] (写真と、資料)

待望の高徳線開通の日は遂に来た。過去に於て本線の實現に全生命を投じて来たゆけに板西町の喜びは想像以上大きなものがある。全町は隅から隅迄紅白の柱に目もめでやかに萬國旗をはりめぐらし三合、郡頭橋、高樹、大寺新田、川端、桜町、大坂に大祝賀アーチを立て竿頭高く日章旗は翻る、各商店又装ひを凝らして本社後援の全町祝賀大賣出しは大いに氣勢を擧げ早朝より煙火は間断なく打上げ大坂山に轟きいやが上にも人氣をそよる、此の喜びの日板西小學校では祝賀行進歌も高らかに旗行列を三班に分ち長蛇の如く行進する、全く板西町は祝賀の渦を巻いて居る

資料-1 吉野川橋りょう(高德線)の開通時の徳島毎日新聞記事(徳島新聞社提供)



写真-2 吉野川橋りょう(高德線)の開通時の写真(徳島新聞社提供)

(訳)

待望の高徳線開通の日はついに来た。過去において本線の實現に全生命を投じてきただけに板西町(現板野町の一部)の喜びは想像以上大きなものがある。

全町は隅から隅まで紅白の柱に目もめでやかに万国旗を張り巡らし三合、郡頭橋、高樹、大寺新田、川端、桜町、大坂に大祝賀アーチを立て、竿頭高く日章旗は翻る。各商店又装いを凝らして本社後援の全町祝賀大賣出しは大いに氣勢を擧げ早朝より煙火は間断なく打ち上げ大坂山に轟き、いやが上にも人氣をそよる。この喜びの日、板西小學校では祝賀行進歌も高らかに旗行列を三班に分ち長蛇の如く行進する。全く板西町は祝賀の渦を巻いている。

昭和10年3月21日 徳島毎日新聞記事



図-6 高徳線位置図

吉野川橋りょう(高德線)の架橋技術

吉野川橋りょう(高德線)は、モスグリーン(苔色)で彩られ、14径間の細長い平行的なトラス形式の橋が規則正しく連なり、吉野川の青や眉山の緑と調和して美しい景観を現している。(写真3)



写真-3 モスグリーンに彩られた吉野川橋りょう(高德線)

橋梁の概要を表-1に、一般図を図-7に示す。

上部工は、中央部が支間長71・2m、橋長214・4mの3径間連続平行弦鋼ワレントラス橋の4連と、両端の支間長45・3m、橋長46・4mの単純平行弦鋼ワレントラス橋で構成される。(図7)

項目/数量他	数量
橋 長	949m
支 間 長	71.2m (3径間連続トラス橋) 45.3m (単純トラス橋)
上部工形式	3径間連続トラス橋4連 単純トラス橋2連
下部工形式	鉄筋コンクリート(RC)橋台2基、 鉄筋コンクリート(RC)橋脚13基: 井筒(ケーソン)基礎(ニューマチックケーソン工法)
起 工	昭和7年(1932)11月
開 通 年	昭和10年(1935)3月

表-1 吉野川橋りょう(高德線)の概要

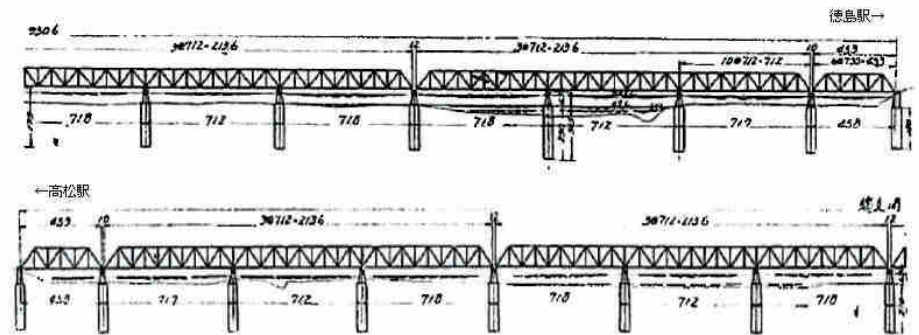


図-7 吉野川橋りょう(高德線)一般図(公益社団法人 土木学会附属土木図書館所蔵)

下部工の井筒(ケーソン)基礎には、建設当時に最も新しいといわれたニューマチックケーソン(潜函)工法を採用し、その上に鉄筋コンクリート(RC)橋台と橋脚を構築して橋を支えている。橋の架橋技術のうち、①3径間連続トラスの計画と設計、②ニューマチックケーソン(潜函)工法による基礎の施工の、2つの技術について紹介する。

吉野川橋りょう(高德線)の架橋技術① 3径間連続トラスの計画と設計

連続橋は、橋脚を跨いで2径間以上の橋桁を一体化した構造の橋梁である。大正8年(1919)に架橋された東北本線の利根川橋りょうや、昭和4年(1929)の会津線の閼川橋りょうに使用された例があるが、本格的な連続トラス橋としては

吉野川橋りょう(高德線)が初めてである。連続トラス構造は応力が各支間に分散されるため、同一構造高の単純トラス構造よりも支間長を伸ばすことが可能となる。その結果、橋脚の数を減らして水流への障害を減少させるとともに、鋼材の軽量化や、トラベラクレーンによる架設が容易になるなどのメリットがある。

連続桁のメリットは数々あるが、橋台や橋脚に不等沈下が生じると、トラス構造に悪影響を与えることになる。このため、わが国では当時、連続構造の橋は岩盤基礎のような強固な地盤の個所にしか使用せず、地盤が不等沈下する恐れがある個所には使用しない考え方があった。

吉野川橋りょう(高德線)の架橋地点の河床は吉野川の洪積層にあり、十分な支持力が得られない粘土混じり細砂の軟弱な

地盤の上で、不等沈下の恐れがあった。そこで、橋の下部工基礎には深さ18〜25 mのケーソン基礎を用い、その底面で作業員が地盤を掘削し、ケーソン本体を沈下させるニューマチックケーソン（潜函）工法を採用した。これにより、直接、地盤の耐力試験を行い、確実な支持層にケーソンを定着させることよって連続構造が可能になった。

中央部の上部工の連続トラス化により、中央径間は端径間より支間長が長いにも関わらず、両端の単純トラス橋と同一構造高で計画することができるようになった。上部工の架設には、上弦材上を走行するトラブラークレーンでトラスを次第に張り出していく片持工法を採用した。これによつて、洪水に関係なく架設を続けることができた。（写真4）また、ほとんどの資機材を全国各地から取り寄せることので

再利用による工事費の削減や工期の短縮が図られている。

3径間連続トラスにするとともに端部の単純トラス桁と橋脚の支承部で高さを調整するなど、すべてのトラス橋がつながっているように見えるようにも配慮されている。（「1」「4」「5」（写真1））



写真4 トラス橋の架設（片持工法による架設）（徳島新聞社提供）



写真5 3径間連続トラス橋と単純トラス橋との高さ調整により景観に配慮

吉野川橋りょう（高德線の架橋技術②） ニューマチックケーソン（潜函）工法 による基礎の施工

「1」ニューマチックケーソン（潜函）工法

ニューマチックケーソン（潜函）工法は、空気（ニューマチック）の潜函（ケーソン）工法とも呼ばれる。空気が入ったコップを逆さまにして空気が逃げないように水中に押し込むと、空気の圧力でコップの中へ水が浸入するのを防ぐことができる。この原理を応用した工法である。ケーソンの一番下に気密の作業室を作り、エアシヤフトから圧縮空気を中に送り込んで、地下水の浸入を防ぐ。その室内で作業員が掘削機を操作し、土砂の掘削や土砂バケツトで土砂を取り除く作業を行う。（図8）ニューマチックケーソン工法の手順を以下に示す。

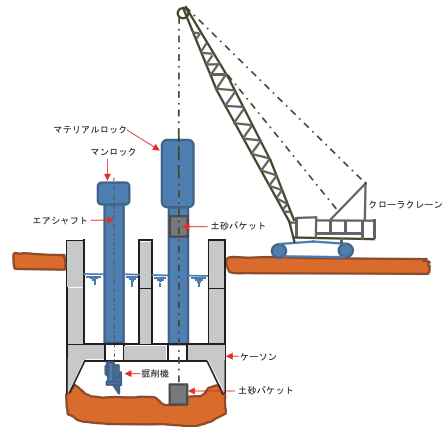


図8 ニューマチックケーソン工法概要図

- ① 刃口金物据え付け・気密作業室の構築
- ② 第2ロット構築・ケーソン内掘削設備組み立て

- ③ 艀装設備組み立て

- ④ ケーソン沈下掘削・構築の繰り返し

- ⑤ 地盤支持力試験、函内設備解体・撤去

- ⑥ 中埋コンクリート打設

艀装設備
人が出入りするためのマンロックと、土砂や材料の搬入・搬出のためのマテリアルロックからなる設備。

オープンケーソン工法(図9)は、掘削機械によって地上面から掘削を行い、ケーソンを所定の地盤まで沈下させる工法である。

同工法で軟弱地盤や地下水の多い地盤を施工すると、水や泥が作業個所に流れ込み、掘削作業が非常に困難になる。

一方、ニューマチックケーソン工法の場合、このような地盤でも施工が可能である。

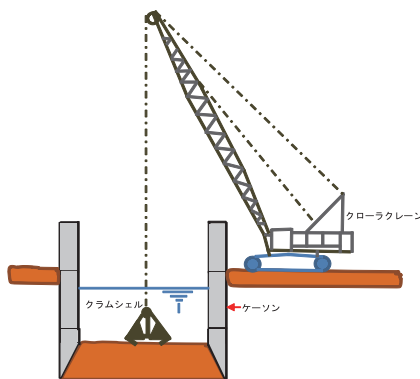


図9 オープンケーソン工法概要図

る。また、直接、地盤の支持力試験を行い、確実な支持層を確認できる利点がある。

同工法では、作業員が加圧や減圧の設備などの特殊な機械設備を使って高気圧作業をするため、「減圧症」と呼ばれる病気にかかることがある。そこで、あらかじめマンロック(写真6)と呼ばれる設備で、ケーソン内へ入る時は加圧、出る時は減圧するなど、労働安全衛生管理には特別の配慮が必要になる。

【2】基礎の施工

「工事画報」(昭和8年(1933)9月号吉野川橋梁基礎圧搾空気潜函工事)によると、吉野川は同2年(1927)の改修以降の調査で毎年11月から翌年4月までは洪水がないことが判明していたため、この時期に一気に水中工事を完成させ

る計画を立て、同7年(1932)1月初旬にケーソンの工事に着手している。下部工の基礎は当初、オープンケーソン工法が予定されていたが、地質が軟弱なためニューマチックケーソン工法が採用された。その理由は、地盤の支持力の測定や基礎コンクリートの施工などを確実に行うことができることにあった。当時のケーソンの施工方法を以下に示す。

【3】ケーソンの構造

鉄筋コンクリート(RC)構造で、幅4・2m、長さ9・5mの矩形が18mから21mの高さまで立ち上がる。外壁の厚さは50cm、内部に厚さ40cmの二つの隔壁がある。作業室の天井の高さは作業員の身長とバケットの高さ、急な沈下に対する余裕を考慮して2・1mに定められた。(図10)

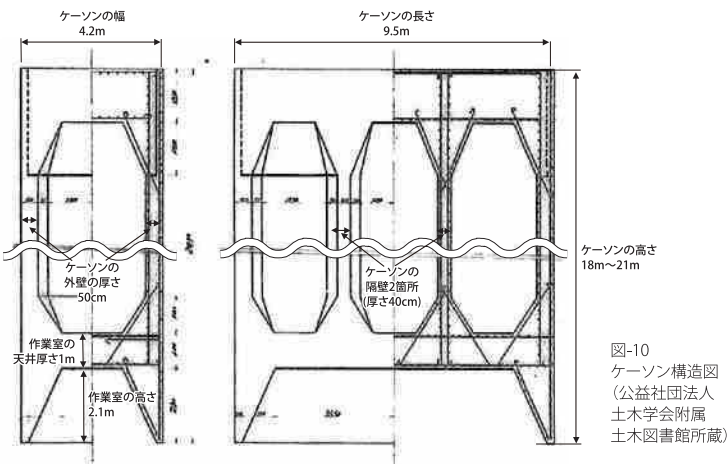


図-10 ケーソン構造図(公益社団法人土木学会附属土木図書館所蔵)

天井部分の厚さは1mで、中央に掘削土砂および人の出入りのために直径1・22mの縦管を備えた。(図11)

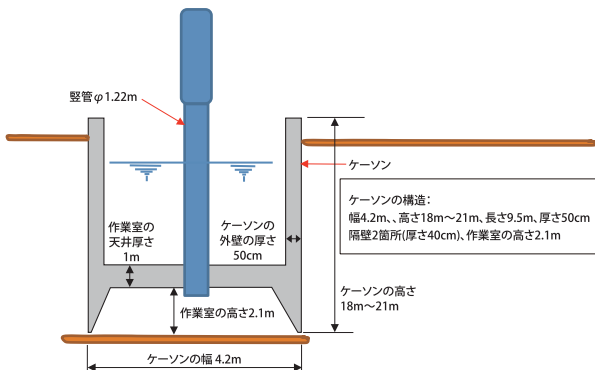


図-11 ケーソン構造イメージ図



写真-6 マンロック(加圧・減圧設備)(公益社団法人土木学会附属土木図書館所蔵)

減圧症
減圧症は、高圧環境下では身体の組織や体液に溶けている気体が、環境圧の低下により気化して気泡を発生し、血管を閉塞(へいそく)して発生する障害のことである。潜水症(病)、潜函症(病)(せんかんしょう)、また、ケーソン病とも呼ばれる。

【4】作業室の構築^⑧

①整地を行い、所定の位置に木製の刃口^{はぶち}を据え付け、作業室の内型枠を組み、鉄筋を組み立てる。(写真7)

②作業室の天井に作業員の出入りと掘削土砂の搬出のための堅管^{たくかん}や送気管、排気

管、電線用鉄管を取り付ける。(写真8)

③ケーソン内に作業室を構築するためコンクリートを打設^{たせつ}する。(写真9)

④作業室のコンクリートが十分硬化するのを待つて型枠を撤去する。

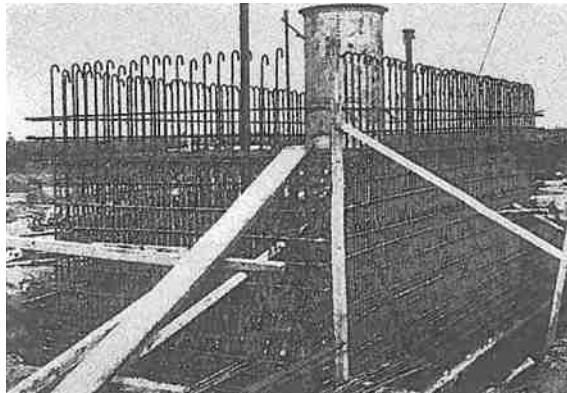


写真-7 ケーソンの鉄筋組み立て状況(中央部が人の出入りや土砂排出用の堅管)
(公益社団法人 土木学会附属土木図書館所蔵)

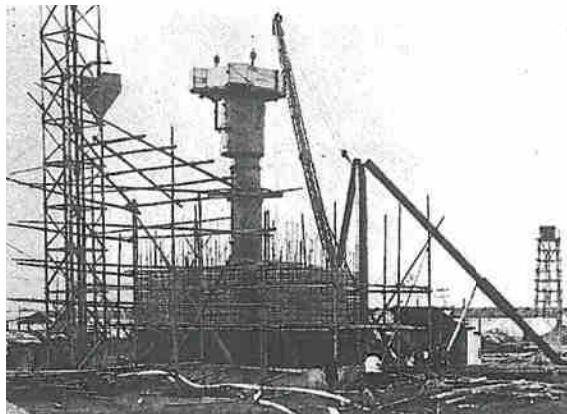


写真-8 堅管設置状況(人と掘削土砂や資材の出入りを兼ねている)
(公益社団法人 土木学会附属土木図書館所蔵)

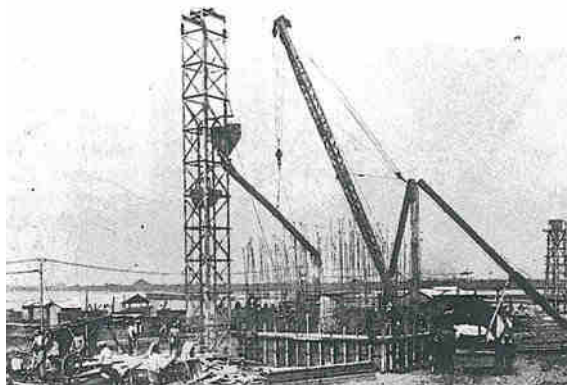


写真-9 ケーソンコンクリートの打設状況(公益社団法人 土木学会附属土木図書館所蔵)

【5】ケーソン内の掘削作業および

ケーソンの構築^⑧

ケーソン内部の掘削土砂は二組の潜函^{せいかん}夫^ふが掘削して容量0・5m³のバケットに入れ、堅管を通して外部の土砂置場に排出。トロリーを使って運搬や片付けが行われた。

また、この橋梁^{はしりょう}の潜函(ケーソン)は小型で掘削および本体の沈下に要する日数が1日ないし2日間だったので、本体構築のためのコンクリート打設および硬化には2日ないし4日間もの日数を要した。

ケーソン本体の沈下作業は、周壁^{しゅうへき}コンクリートの作業工程によって左右された。

【6】ケーソンの沈下作業^⑧

吉野川の干潮を見計らって7人または8人の潜函夫が作業室に入り、ケーソン

が傾斜しないよう注意しながらケーソンの下部を先行掘削して沈下させる。なお、作業中は、送気設備から圧縮空気を室内に送って水の浸入を防ぐ。(写真10)

作業室の上には高さ3mまたは4mの周壁コンクリートを構築し、堅管の継ぎ足し、空気開^{くわいき}および気管などの臙装^{ぎさう}設備の取り付けなど、一切の設備を完成させた後、送気式井筒^{いづつ}沈下法によってケーソンを沈下させる。(写真11)

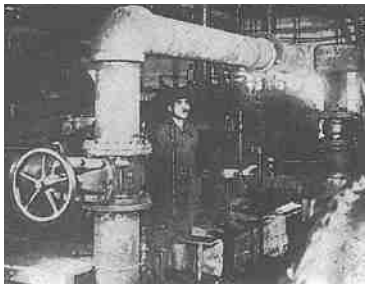


写真-10 潜函内部への圧気装置
(公益社団法人 土木学会附属土木図書館所蔵)



写真-11 ケーソン周壁コンクリートの継ぎ足し状況
(公益社団法人 土木学会附属土木図書館所蔵)

送気式井筒沈下法

送気式井筒沈下法は、軟弱地盤中に井筒を沈下させて立坑(たてこう)を開削する際に、井筒の外壁から圧縮空気を噴出させて井筒と地盤との間の摩擦を減少させ、井筒の沈下を制御する工法である。わが国で考案され発達したものである。

〔7〕地盤支持力の測定作業^{〔8〕}

予定した支持地盤までケーソンを沈下させた後、ケーソンの作業室内で実際の支持力を測定する。

まず、室内の地盤を凸凹が無いよう整地し、一定の底面積を持つ板を設置する。その上に据え付けたオイルジャッキで圧力を加え、ジャッキのシリンダーに接続している圧力計で地盤にかかる圧力を計る。さらに、周円面積と気圧および水圧による浮力とケーソンの重量により、周壁に働く摩擦力を測定する。(写真12)



写真-12
ケーソン底面の地盤の支持力確認状況
(公益社団法人土木学会附属土木図書館所蔵)

〔8〕作業室内への中埋コンクリート作業^{〔8〕}

ケーソン底面の支持力を測定し、ケーソンが所定の支持力を持つことを確認した後、作業室内に中埋コンクリートを充填する。

この中埋コンクリートは、堅管内に設置した材料間を通して投入される。作業室内を気圧のかかる状態に保つため、まず材料間下部の戸(バルブ)を閉め、材料間の中が満杯になるまでコンクリートを溜める。その後、上部を閉めて下部を開き、作業室内にコンクリートを充填する。

作業室内では潜函夫がコンクリート打設の作業を行い、天井近くまで充填した後、作業室を出る。

その後、作業室に直通する送気管を気間に切り替える。気間のバルブを時々開いて作業室内の空気を放出し、圧力を下

げながら残りの隙間部分にコンクリートを充填する。バルブを開いて送気管からコンクリートが噴出すれば、空気が無くなった証拠であり、作業室の充填が完了する。(写真13)

約12時間そのまま気圧を保つた後に次

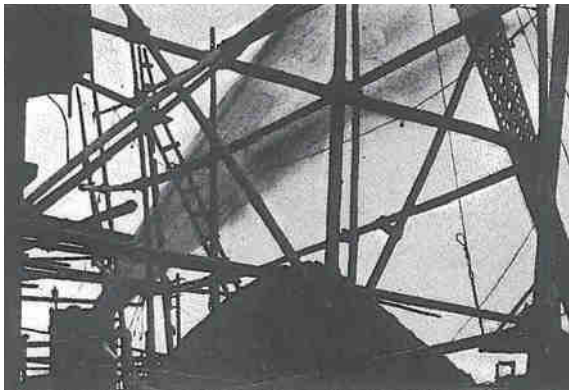


写真-13 中埋コンクリートが充填し噴出している状況
(公益社団法人土木学会附属土木図書館所蔵)

次に気圧を下げて断気し、上部の蓋コンクリートを打設すればケーソン工事が終了する。
工事終了後には、上部に鉄筋コンクリート(RC)橋台と橋脚が施工されている。(写真14、15)

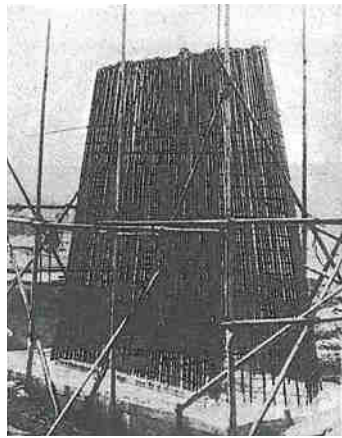


写真-14
橋脚の鉄筋組み立て状況
(公益社団法人土木学会附属土木図書館所蔵)

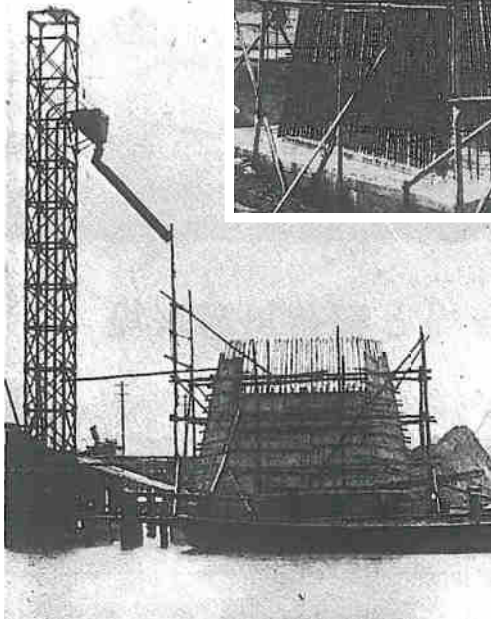


写真-15
橋脚の型枠組み立て状況
(公益社団法人土木学会附属土木図書館所蔵)

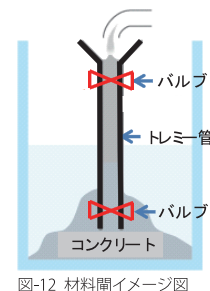


図-12 材料間イメージ図

気間
空気を作業室内へ送るため、バルブ付きで開閉できる構造となった管路。

材料間
材料を作業室へ送るため、バルブ付きで開閉できる構造になった管路。作業室内への水の浸入を防ぐためには気圧を一定に保つ必要があり、上下2個のバルブが付いている。(図12)

地震と吉野川橋りょう(高德線)

昭和21年(1946)12月に発生した南海地震は、マグニチュード8・0の大地震であり、四国の南部地域は壊滅的な被害を被った。

吉野川橋りょう(高德線)では、最大で水平方向に18cmの移動と、6・4cmの沈下が生じた。

しかし、橋脚に亀裂が発生することはなく、橋桁のトラス部分に変形が確認されたが、わずかなものであった。被災後2日間の運休と、1カ月余りの徐行運転を余儀なくされたものの早々に復旧され、翌年には元の姿に戻っている。

吉野川橋りょう(高德線)の維持管理

吉野川橋りょう(高德線)は、安全で安定した鉄道輸送を維持していくため、2年に1度の定期検査が実施されている。

橋脚や橋台などのコンクリート構造物は、ひび割れやコンクリートの劣化状況などを検査する。トラス橋のような鋼構造物も、部材の腐食状況や塗装の状態を検査するほか、定期的に塗り替えを実施している。(写真-16)



写真-16 吉野川橋りょう(高德線)