# 土木が好きになる
# 27の物語

— Infrastructure for the Next Generation —


Episode01 世界最大級のシールドカッターフェイスを見に行こう …… 2
Episode02 明石海峡大橋ブリッジワールド体験記 …… 3
Episode03 巨大ダムのカリスマ 黒部ダムの生誕を探る …… 4
Episode04 都市トンネル構築技術の王者 シールド工法 …… 5
Episode05 やじろべえ工法による高架橋の建設法 …… 6
Episode06 田空港D滑走路の威容と偉業 …… 7
Episode07 星降る橋：星グル写真の魅惑 …… 8
Episode08 純揚水式発電所：北海道電力京極発電所 …… 9
Episode09 九州新幹線は堅牢優美な駅舎が魅力 …… 10
Episode10 東西交通のダイナミズムを体現する薩埵峠 …… 11
Episode11 稚内港北防波堤ドーム …… 12
Episode12 横浜ベイブリッジが豪華客船を丁重に出迎えた …… 13
Episode13 2000kW級風力発電：陸上から洋上へ …… 14
Episode14 土木の曲線美（コンクリート編） …… 15
Episode15 明治/大正/昭和/平成/令和に連なる余部橋梁 …… 16
Episode16 過酷な自然に対峙するタウシュベツ川橋梁 …… 17
Episode17 神流川水力発電所に構築された地下大空洞 …… 18
Episode18 首都圏で再開された舟運事業を探る …… 19
Episode19 有限要素法の美学：Art and Beauty of FEM …… 20
Episode20 浪漫溢れる日本の鉄道駅舎 …… 21
Episode21 ヨーロッパを陸続きにした鉄のモグラTBM …… 22
Episode22 長大吊り橋のメカニズム …… 23
Episode23 地下に建造された巨大水槽スーパーカミオカンデ …… 24
Episode24 日本の国際空港メガエアポートを巡る …… 25
Episode25 クリーンエネルギーのエースLNGの秘密を探る …… 26
Episode26 心躍る高速道路の立体交差：JCTとIC …… 27
Episode27 土木工学の老舗：河川構造物大集合 …… 28
Epilogue 社会インフラの意義と醍醐味を饒舌に語る土木ポスター …… 29

# 土木が好きになる 27の物語

新連載 vol.1

— Infrastructure for the Next Generation —

Civil


吉川 弘道 氏
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。


私たちの生活と産業を支える土木施設（Infrastructure）には、それぞれの建造目的があり、公共財としてのミッションがあるが、一方では、単純にそのフォルムや構造美が話題になることが少なくない。これは、一品生産として大地に根を張る土木施設の重要な一面である。土木の金字塔として称えられ土木施設は、次世代に受け継がれ、やがて、'生きた土木のレガシー'として、100年200年のスケールにて語り継がれることになる。

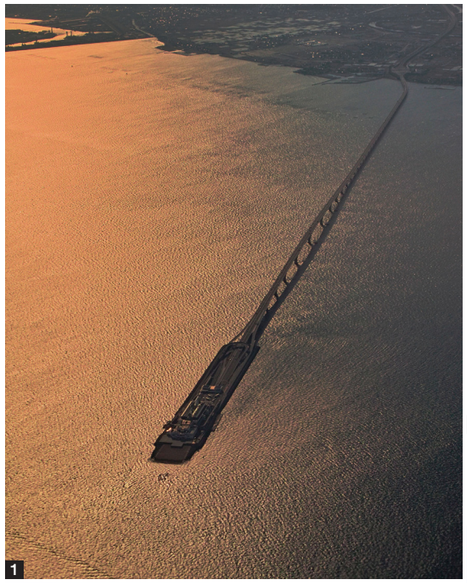
例えば、古今東西、数多(あまた)ある映画を名場面集にて回想するように、土木施設（社会インフラ）の姿形・フォルムを、最も輝く形としてお伝えしたい。ダム、橋、トンネル、空港など全国各地にて供用されている土木施設から、'選りすぐりの名場面'を編集し、土木の世界へ誘うものである。

土木が好きになる27の物語を始めます。

Episode 1

## 世界最大級のシールドカッターフェイスを見に行こう
## — 東京湾アクアライン探訪記 —

■施設データ：東京湾アクアライン
・事業者：東京湾横断道路㈱
・所在地：神奈川県川崎市/千葉県木更津市
・総延長15.1kmの自動車専用道（有料道路）
・供用開始：1997年（平成9年）



1

2

アクアトンネル（海底トンネル）、風の塔（換気施設）、海ほたる（木更津人工島）、アクアブリッジ（海上橋梁）で構成される延長15.1kmの東京湾アクアラインは、我が国の海洋土木史に一つの金字塔を打ちたてた。この巨大プロジェクトには、最先端の技術とノウハウが集結され、「土木のアポロ計画」とも呼ばれた。

開通後20年以上経過した現在では、首都圏の重要な交通インフラとして定着している。晴れた日の東京湾眺望はドライブの楽しみでもあり、四季折々の行楽の工程として組込みたい。

さて、中間地点にある海ほたるが一番馴染み深いが、これを上空から俯瞰するとこんな感じに見える[写真1]。川崎側先端が海上に途切れているのだ。海ほたる[写真2]は、トンネル部（川崎側）と橋梁部（千葉県木更津側）を繋ぐ巨大な連結器として建設された盛土式人工島であることから、理解できよう。

海ほたるに来訪した際は、実物大の'カッターフェイス'を是非とも訪問してもらいたい。この巨大モニュメント[写真3]は、トンネル掘削に使用された世界最大級のシールドマシン（直径14.14m）の前面にあるカッターフェイスを、芸術家澄川喜一氏が制作したものである。なるほど、澄川氏の公式サイトでは、「環境造形」と位置付けている（モニュメントの撮影が終わったら、下の方にある制作者のサインを見つけよう）。

老翁が如く鎮座するカッターフェイスは、かつて掘削した海底トンネルを振り返り、今は地上にて、我が子アクアラインを静かに見守っている。

3

**1** 海ほたる遠望。川崎側はトンネル、木更津側は橋梁となっている。**2** 海ほたる全景。巨大な盛土式人工島である。**3** 澄川氏制作による、環境造形カッターフェイス（海ほたる）【撮影：林直樹氏】

【参照】 澄川喜一氏公式サイト　http://www.sumikawa-art.com/works/kankyouzoukei.html
海ほたる公式サイト　https://www.umihotaru.com/ait_tanken/about_aqua.html



フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。この度、吉川弘道氏執筆による『土木が好きになる27の物語』の連載がFacebookページでスタートいたしました。ここではfacebookで公開されたエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP

https://www.instagram.com/forum8jp/

https://twitter.com/FORUM8JP

Episode 2

## 明石海峡大橋ブリッジワールド体験記
## — 世界最大の吊り橋に登ろう —

■構造物データ：明石海峡大橋（神戸淡路鳴門自動車道）
・管理者：本州四国連絡橋高速道路㈱
・所在地：兵庫県神戸市垂水区東舞子町と淡路市岩屋を結ぶ海峡大橋
・構造形式：3径間2ヒンジ補剛トラス吊り橋
・供用開始：1998年（平成10年）

Q: この画像[写真1]には、10数人が歩行しているが、ここはどこ？

A: 世界最長を誇る吊り橋の桁（正式には補剛桁）の内部。明石海峡大橋ブリッジワールドの体験ツアーのワンシーン。

海面上50mの補剛桁の中を1kmほど歩くと、神戸側主塔に到着する。そして、内部エレベータを約2分かけて終着階に行きつき、オープンエアーの塔頂に出る。いよいよ地上を見下ろし、絶景の大パノラマを堪能することになる[写真2]。誰もが人生初の海面上約300mを体験することができるが、既に"怖い"を通り越して何か高揚感に包まれる。改めて、先人が成し遂げた世界一の長大橋梁の建設技術にリスペクトの念を抱く。

さて、世界一の吊り橋の構造はどうなっているのだろうか。全体構造を理解するには、写真3が分かりやすい。対称形なので、吊り橋のセンターを起点として、左右両側に主塔とアンカレイジを確認して、これらを繋ぐメインケーブルおよびメインケーブルから垂直に下がる無数のハンガーケーブル、そしてハンガーケーブルにて吊り下げられている補剛桁を目視されたい。

1

**1** 補剛桁の内部を歩く見学者一行。徒歩にて、主塔エレベーターに向かう。

最後のクエスチョン…

Q: 明石海峡大橋は世界一であるが、何が世界一か？

A: 中央支間(Center Span)が、1991mで世界一（2km弱の間、何も支えるものがないのだ！）。

因みに、全長（橋長）は3911mであるが、これは、側径間960m＋中央支間1991m＋側径間960m=3911m、のように覚えるとよいのでは。

さあ、明石海峡大橋の主塔に登り、世界一を体験しよう！

【参照】 JB本四高速公式サイト　https://www.jb-honshi.co.jp/bridgeworld/tour.html

2

3

**2** 主塔の塔頂から見下ろす大パノラマ。既に、"怖い！"を通り越している。**3** 明石海峡大橋の全景。2つの主塔と補剛桁、メインケーブルとハンガーケーブルを確認されたい。

吉川 弘道 氏　関連サイト

Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング －インフラ大図鑑－　https://www.doboku-watching.com/

# 土木が好きになる27の物語

連載 vol. 2

— Infrastructure for the Next Generation —

Civil


吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授


早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。

Episode 3

## 巨大ダムのカリスマ 黒部ダムの生誕を探る

### — 自然との戦いを克服したアーチダムはインフラツーリズムの先達でもある —

**■施設データ：黒部川第四発電所 黒部ダム**
- 河川：黒部川水系黒部川（富山県立山町）
- 形式：アーチ式ドーム越流型ダム
- 着工/完成：昭和31年/昭和38年
- 諸元：堤高186m、堤頂長492m、堤体積158万m³

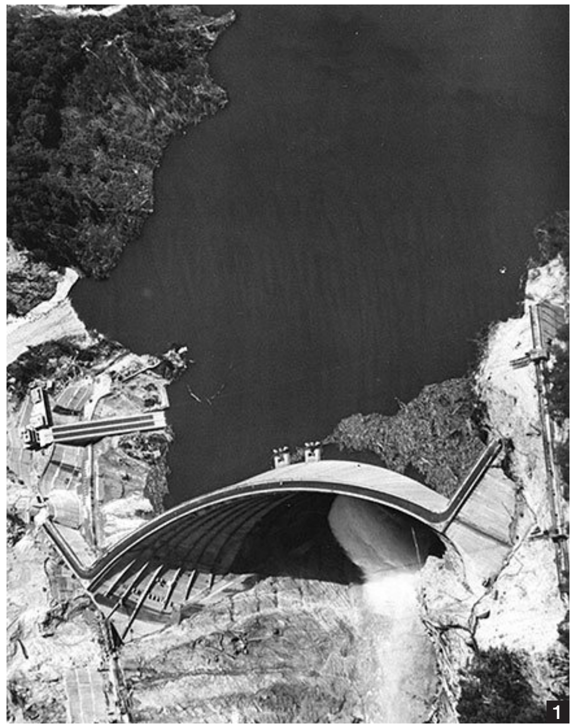
関西電力が社運をかけて挑んだ黒部川第四発電所建設プロジェクト（世紀の大工事"くろよん"）は、1956年（昭和31年）に着工し、厳しい自然環境のもと7年の歳月を掛け完成に至った。中核施設となる黒部ダムは、我が国最大のアーチ式コンクリートダム（アーチ式ドーム越流型ダム）として、その規模と威容を誇る。

先ずは、竣工直後の華麗なフォルムを見て貰いたい[Photo1]。アーチダムを直上から俯瞰したもので、その曲面シェル構造は、堅牢で優美な構造美を魅せている。上流側（水圧側）に迫出していることは、アーチ構造の大原則であることも付記したい。

このような大規模コンクリートダムは、どのように建設されたのであろうか。これは、粛々と進む柱状ブロック工法による工事写真で理解できる[Photo2]。ブロック工法とは、大容量のダムコンクリートをブロックに分割して打設する伝統工法（現在では、レヤ工法、RCD工法、CSG工法などが開発されている）。

人跡未踏の秘境黒部に建設された巨大ダムは、60年に渡り粛々と水力発電を継続しているが、一方では、その威容と構造美に魅了された観光客が引きも切らない。扇沢駅と黒部ダムを往来する関電トンネルトロリーバスは54年間供用され、新しく電気バスに引き継がれた。

巨大ダムのカリスマ黒部ダムは、インフラツーリズム（土木観光学）の先達でもあり、発電という現役選手を貫いたまま土木のレガシーを体現している。



1 竣工直後の直上空撮
2 柱状ブロック工法による建設中の黒部ダム
【資料提供】「世界銀行 The world Bank」日本が世界銀行からの貸出を受けた31のプロジェクト
http://worldbank.or.jp/31project/

3 観光客で賑わうダムサイト。ダイナミックな人工瀑布が生み出す虹は、インスタ映えのお手伝いをする。

【補記】黒部川第四発電所は、黒部ダムの竣工を待たずに発電したと言われている。
公式サイトによれば、1963年黒部ダム完成、1961年1月営業運転開始と記されている。



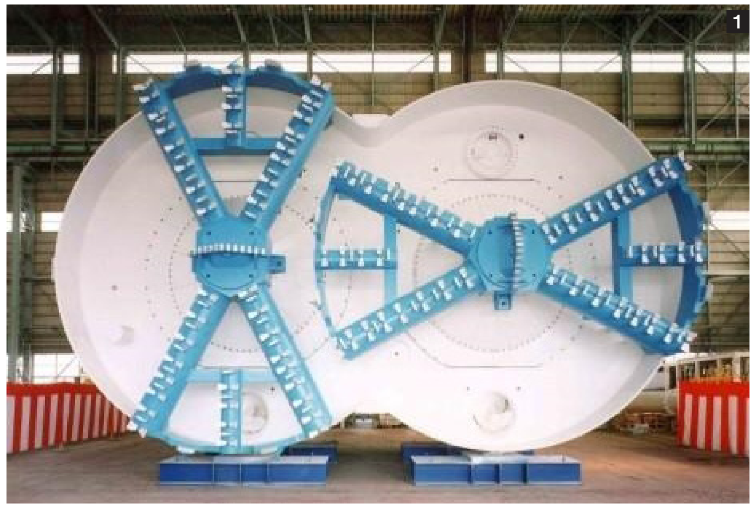

フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP
https://www.instagram.com/forum8jp/
https://twitter.com/FORUM8JP


Episode 4

## 都市トンネル構築技術の王者 シールド工法

### — 飽くなき合理化の追求：重複円形断面・非円形断面 —



1 二連円形断面泥土圧シールド工法のシールドマシン

2 二連円形断面トンネルの完成

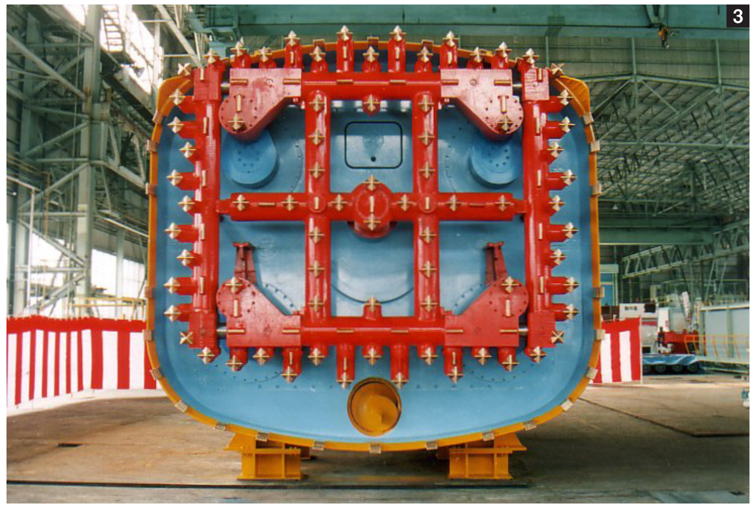
シールド工法とは、シールドマシンと呼ばれる鋼製外筒を持つ掘削機を用い、地山の崩壊を防ぎながら掘削/推進/覆工する工法。昭和/平成期には全国の都市部にて、地下鉄・電力・下水道・共同溝などに適用され、密閉型シールド工法は都市トンネルの代名詞ともなっている。シールドトンネルと言えば円形断面が基本であるが、近年、多種多様の頼もしい異端児が生まれている。

[Photo1]は二連円形断面泥土圧シールド工法で、カッターフェイス（シールドマシンの最前面）の仕組みに秘密がある。[Photo2]は、これを実際の建設現場にて適用し、重複円形断面（2つの円が一部重なっている）の地下鉄上下線を構築している。

次の[Photo3]は偏心多軸シールド工法で、ほぼほぼ四角形の断面[Photo4]を構築することができる。さらには、カッタフレームの形状を変えることで、円形、矩形、楕円形、馬蹄形等も可能で、非円形断面を構築する究極のカッターフェイスである。

さて、変断面形状（非円形断面）にはどんなメリットがあるのか?これは、地下の多種多様な制約条件に広く対応することにより、地下空間のより高度な有効利用が可能となる。平たく言えば、無駄な断面スペースを省くことにより建設コストを削減するものである。

ロンドンのテムズトンネル（19世紀後半に完成）が起源とされるシールドトンネルは我が国にも伝わり、平成期に入り、大断面・高速施工・大深度化・合理化施工など世界の最先端技術をリードしてきた。AI技術（人工知能）も導入されていると聞く。改めて、エンジニアの飽くなきチャレンジ魂に敬意を表したい。



3 偏心多軸シールド工法のシールドマシン

4 完成したトンネルの断面（ほぼ四角形です）

【資料提供】大豊建設　https://www.daiho.co.jp/tech/

**吉川 弘道 関連サイト**

Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング ーインフラ大図鑑ー　https://www.doboku-watching.com/

# 土木が好きになる27の物語

— Infrastructure for the Next Generation —

連載 vol. 3


civil

吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。


## Episode 5

## やじろべえ工法による高架橋の建設

### —日本のお家芸となったPC架橋技術：片持ち張出し施工 —

■施設データ:徳之山八徳橋（岐阜県）
・発注者:水資源機構
・形式:PC3径間連続エクストラドーズ箱桁橋
・橋長(支間):503m(139.7m+220.0m+139.7m)
・竣工:2008年（平成20年） ・受賞:PC技術協会作品賞
・諸元:堤高186m、堤頂長492m、堤体積158万㎥

戦後、ヨーロッパから導入されたPC橋は、我が国において道路橋や鉄道橋にて多用され、現在では実績と技術力において世界をリードしている。なかでも、片持ち張出し架設(cantilever system)は、高度なテクノロジーを必要とする一方で、華やかな橋梁架設技術であり、ここに紹介したい。

先ずは、徳之山八徳橋（岐阜県）の事例をみて貰いたい。[Photo1]が張出し架設工法による建設中の画像で、移動作業車ワーゲン（ドイツ語由来）が橋脚上部から左右にバランスを取りながら橋桁を伸ばしている。やがて支間中央にて橋桁が閉合し、橋面工を経て完成となる[Photo2]。このため、'やじろべえ工法'の愛称で呼ばれ、期間限定のインスタ映えスポットともなる。

1 移動作業車（ワーゲン）が、それぞれの橋脚から左右均等に延伸している

2 竣工後の全景（3径間連続エクストラドーズド箱桁橋：2008年竣工）

■施設データ:第二東名高速道路 芝川高架橋（静岡県）
・事業体:NEXT中日本（当時 日本道路公団）
・形式:PC多径間連続ストラット付箱桁橋
・竣工:2004年（平成16年）
・受賞:土木学会田中賞作品賞
PC技術協会作品賞、土木学会デザイン賞優秀賞

次の事例は、芝川高架橋（新東名高速道路）の場合で、同様に[Photo3]にて張出し架設工法による建設が進み、[Photo4]が上下線の完成写真である。

張出し架設工法の最大のメリットは、足場や支保工など地上設備を必要とせず（つまり地上を阻害しないで）、施工できることである。個人的には、'近代橋の空中戦工法'と呼んでいる。ただし、その設計と施工に際しては、高度な技術力と経験値が要求されるが、日本のエキスパートたちはアジアを中心に海外の橋梁工事を主導している。

ここに紹介した2橋の橋梁形式は異なる。徳之山八徳橋の場合、中央支間220mのPC３径間連続エクストラドーズドラーメン箱桁橋であり、芝川高架橋はＰＣ多径間連続ストラット付箱桁橋である。ともに、今世紀にて開花した最先端橋梁工学の"申し子"でもあることを付記したい。約2年に渡る空中戦法を制し竣工した花形橋梁は、既に1年365日24時間怠りなく、粛々と高速道路の役目を果たしている。これから100年に渡る供用がミッションとして課せられている。

3 移動作業車がスパン中央部まで延伸している

4 竣工後の全景（PC多径間連続ストラット付箱桁橋：2004年竣工）

【画像提供】 オリエンタル白石　http://www.orsc.co.jp/res/con13.html




フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP
https://www.instagram.com/forum8jp/
https://twitter.com/FORUM8JP


## Episode 6

## 羽田空港D滑走路の威容と偉業

### —衛星画像で俯瞰する桟橋部と埋立部のハイブリッド構造 —

■構造物データ:羽田空港 D滑走路
・D滑走路:羽田空港の第4の新設滑走路
・所在地:東京都大田区羽田空港（町名が「羽田空港」になっている）
・構造:長さ2500メートル、幅60メートル
・ハイブリッド構造:埋立部（2/3）、桟橋部（1/3）、連絡誘導部で構成
・供用開始:2010年（平成22）年10月21日

先ずは、[Photo1]の'マス目'と[Photo2]の'埋立'をご覧ください。これは何でしょうか、答えは後ほどにて。

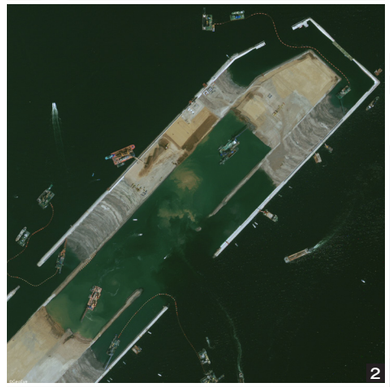
海上に建設される巨大空港は、土木工学の既往技術と先端技術が結集されているが、直上から大きく俯瞰するとその威容を満喫できる。ここでは、高分解能衛星（IKONOS/GeoEye-1衛星）によって撮影された東京国際空港（Tokyo International Airport、通称:羽田空港）を紹介したい。[Photo3]は、羽田空港の全容を撮影したもので、当時稼働中のA、B、C滑走路、および建設中のD滑走路を確認されたい（2009年撮影）。

このD滑走路は、桟橋部と埋立部から構成されるハイブリッド構造が採用され、計画時より大きな注目を集めた。これまでの海上空港は埋立方式が主流であったが、D滑走路の場合、多摩川の流下を妨げないように桟橋構造が併用された。折しも工事最盛期であるため、連絡橋も含めてそのハイブリッド構造の特徴をはっきりと識別することができる。

さて、本文冒頭の問いの答えは「施工中の桟橋部と埋立部」である。上空681kmの太陽同期準極軌道から撮影された高分解能衛星画像から、整然と同時進行する海上工事の活気が伝わってくる。作業船や重機が動き出すのではないかと錯覚するほど、そのダイナミズムを醸し出す衛星画像である。

さて、2010年の供用開始から数年経過した頃、家族旅行の帰路のことであった。A滑走路にて着陸する際、右側席からたまたまD滑走路を見つけ、あわててシャッターを切った。そして、滑走路端部のジャケット構造（桟橋部）がはっきりと見え、"滑走路面が海面から浮き上がっている"のが目視できたのだ[Photo4]。"これがあの桟橋構造なのだ！"と、ひとり勝手に感激涙した次第である。

1



2

3

1 施工中のD滑走路桟橋部　2 施工中のD滑走路埋立部
3 衛星画像により俯瞰する東京国際空港（1 ～ 3 の画像：撮影2009年4月7日、GeoEye-1 (C) DigitalGlobe）
4 A滑走路に着陸する旅客機から撮影したD滑走路端部（著者撮影）

4

Episode 7

## 星降る橋：星グル写真の魅惑

### ― 天空の星を戴く陸標にはショパンのノクターンがお似合い ―

1 埼玉県 秩父ハーブ橋：PC斜張橋【撮影 依田正広氏】

満天の星と邂逅する橋たちに、ショパンのノクターン（夜想曲）を聞かせたい。1年365日毎日24時間稼働する土木施設への返礼でもある。

ここに紹介する選りすぐりの3橋（[Photo1] 秩父ハーブ橋、[Photo2]外津橋、[Photo3]生月大橋）は社会インフラとして貢献する一方、地域の道標（ランドマーク）として鎮座する。

これはまた、星グル写真なるカメラテクニックが、100年の供用を使命とする橋梁たちの存在感を醸し出しているとも言える。あって当たり前のミッションをこなす橋たちには、感謝の意を表したい。

さて、Episode7では言葉少なくして、太陽系第3惑星の天体運動と一体になった橋梁の叙事詩を堪能あれ。写真家お二人のそれぞれの感性とテクニックから撮られた写真“星降る橋”たちの一時の安らぎをご覧下さい。

☆追伸：
“星グル写真”とは、星の日周運動（1日1回転）による光跡を比較明合成（いわゆるコンポジット）等の技法で表現した写真（島村直幸氏）。

2 佐賀県 外津橋（ほかわづばし）：RC2ヒンジ上路橋アーチ【撮影 島村直幸氏】

3 長崎県 生月大橋（いきつきおおはし）：3径間連続曲弦下路鋼トラス橋【撮影 島村直幸氏】



Episode 8

## 純揚水式発電所：北海道電力京極発電所

### ― 揚水式発電所は人類が発明した大規模蓄電施設である ―

■構造物データ：北海道電力京極発電所
・事業者：北海道電力
・所在地：北海道虻田郡京極町字春日
・発電方式：水力（ダム水路式、純揚水）
・最大出力：600,000kW（200,000kW×3台）
・使用水量：190.5m3／sec　・有効落差：369m

揚水式発電所（pumping-up hydraulic power generation）の原理はシンプルで、水の位置エネルギーを利用した蓄電施設である。揚水式発電の目的は、「深夜の余剰電力を使って上池に揚水して、日中の需要ピーク時に発電し、負荷調整の効率化を図る」もので、我が国では80年以上の歴史がある。例えば、茹だるような暑さの盛夏をイメージして貰いたい。全国どの電力会社もピーク時の安定供給に躍起となるが、このような時、電力の平準化として効果を発揮する。

ここに紹介する京極発電所（北海道電力）は、満を持して建造された最新の純揚水式発電所である（平成26年度土木学会技術賞）。揚水式発電所の3つの画像（高地より順に、[Photo1] 上部調整池、[Photo2] 地下発電所、[Photo3] 下部調整池）を見て頂きたい。この3施設は水管にて連結され、3つの[Photo]がちょうど発電の順序にもなっている。

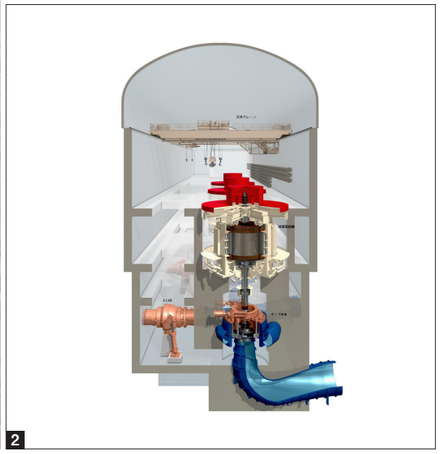
一方、余剰電力による夜間の揚水はこの逆となる（下部調整池から上部調整池に汲み上げ、位置エネルギーを貯める）。因みに、余剰電力による揚水⇒需要時の発電による効率は70%程度と言われている。整理すると[Photo4]にて全体像というか仕組みを理解する事ができるのでは。

さて、一体どうやって立地調査し、設計/施工したのか、想像も付かない。単体のダムや発電所の設計とは異なり、水を主役とする発電/蓄電システムを、地球上に構築するのである。そこには、我が国の発電土木の長い歴史と卓越したエンジニアとのマッチングがある。

そして、一旦運用が始まれば、日常も非日常も粛々と稼働していることも忘れてはならない。頼もしいかな、純揚水式発電京極発電所の各施設がOne Teamとなって稼働し、低炭素社会の構築に寄与している。

【資料提供】　北海道電力　http://www.hepco.co.jp/energy/water_power/kyogoku_ps.html
【参考資料】　北海道電力　JST低炭素社会戦略センターによる提案書（2019年1月）

1 上部調整池（上池）



2 地下発電所断面

3 京極ダム（下部調整池）

4 京極発電所の全体システム

吉川 弘道 関連サイト

Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング －インフラ大図鑑－　https://www.doboku-watching.com/

連載 vol. 4

# 土木が好きになる 27の物語

— Infrastructure for the Next Generation —

civil

吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。

Episode9

## 九州新幹線は堅牢優美な駅舎が魅力

### —最先端の駅舎をファサードで語りたい—

■施設データ:九州新幹線
整備新幹線計画の一つで、2004年に開業。鹿児島ルート（全線開業）と西九州ルートがある。鉄道・運輸機構が建設し、JR九州が運営。山陽新幹線との相互直通運転も始まっている。

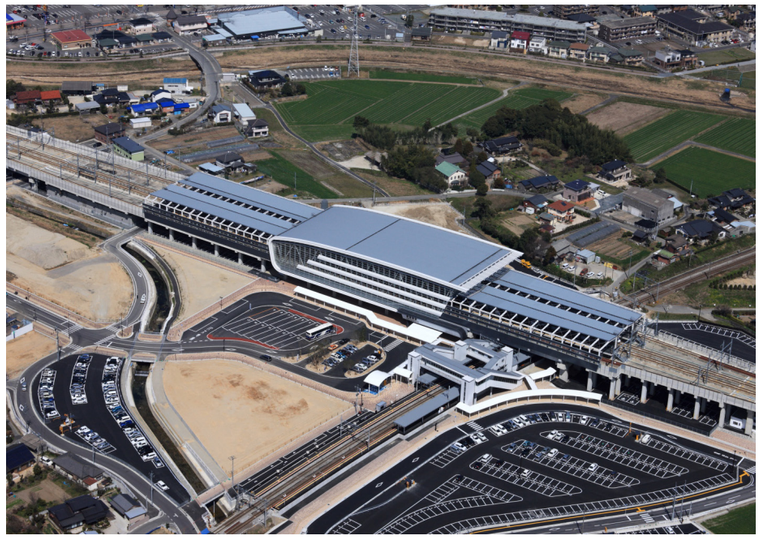
1964年（昭和39年）10月1日、"夢の超特急"東海道新幹線は、東京オリンピックの開会式を同月10日に控え、華々しく開業した。広軌弾丸列車は50余年が経過したが、世界が競う高速鉄道の先駆けでもあった。

時は流れ平成後期には九州新幹線が開業したが、ここでは当時話題となった最先端の駅舎、新八代駅[Photo1]と新鳥栖駅[Photo2]を紹介したい（開業当初の画像である）。

いずれも堅牢にして優美な駅舎であり、当初より新時代を予感させるデザインであったことは間違いない。さらに、そのデザインに際してはコンセプトを設定し、ユニバーサルデザインも必須要件であった。加えて、「ファサードには、"球磨川のおおらかな流れ"を表現（新八代駅）」、「鳥の翼をイメージしたやわらかな曲線と3 本ラインで躍動感・スピード感のある表現とした（新鳥栖駅）」など、ファサード（建物の正面デザイン）の意図が真剣に語られていた。土木技術者には、何か新鮮な響きを与えてくれたことも記憶に新しい。

さて、新幹線と言えば、次々にデビューする新型車両が人気の的。しかし、一方では、どんな時代にあっても、安全快適な高速鉄道システムを下支えするのは鉄道インフラである。各駅のファサードは、100年の間変わることなく地域を見守ることになる。

1 新八代駅（熊本県八代市 平成16年開業）



2 新鳥栖駅（佐賀県鳥栖市 平成23年開業）

【画像・資料】 エスエス・安井建築設計事務所
【参照サイト】安井建築設計事務所　https://www.yasui-archi.co.jp/works/detail/561166/index.html



フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP
https://www.instagram.com/forum8jp/
https://twitter.com/FORUM8JP

Episode10

## 東西交通のダイナミズムを体現する薩埵峠

### —絵師歌川広重の愛した眺望—

■構造物データ:東海道 薩埵峠（さったとうげ）
江戸時代の絵師広重の描いた由比 薩埵嶺は、霊峰富士と駿河湾を一望し、近景には、急峻な峠を越える旅人の姿が小さく見える。現代は海岸線に沿って大交通路が開け、近隣の展望台が撮影スポットとなっている（アクセス道路は道幅が狭いので要注意）。

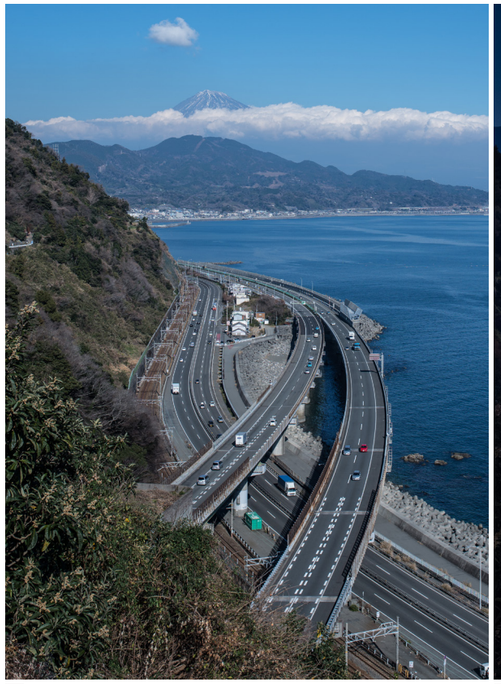
静岡県静岡市に位置する薩埵峠（さったとうげ）は、五十三次の宿、由比と興津の間に立ちはだかる。この東海道の難所は、江戸時代の絵師歌川広重が描く浮世絵にも登場する[Photo1]。左上の断崖絶壁には、富士山を仰ぎ駿河湾を眺めながら、恐る恐る峠を超える3人の旅人が描かれている。遠景と近景を見事に描き出した、広重の傑作である。

時は移り、東西交通の難所は、東名高速道路、国道1号線、JR東海道本線が併走する交通の要衝として様変わりする[Photo2]。鉄道と道路の交通インフラが高度に整備され、1年365日休む暇なく稼働する[Photo3]。資料によれば、海岸線に沿って交通路ができたのは、江戸時代後期の安政の大地震（嘉永7年, 1854年）による海岸隆起が起きてからとのこと。

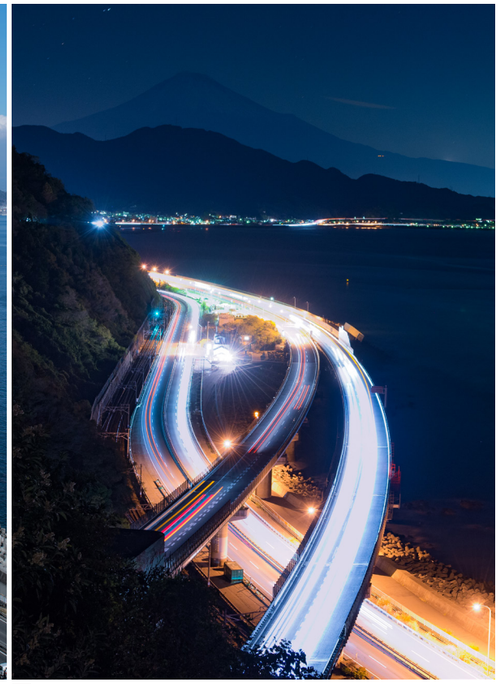
24時間稼働する東西の大動脈を担う東海道の様変わりは、これらの写真が如実に語る。200年ほどの時を超え、頼もしいかな大容量の交通インフラが下支えする我が国の経済発展を象徴している。江戸時代から連綿と続く東海道の要衝は、東西交流のダイナミズムを体現するが、遠方に鎮座する霊峰富士が、幾久しくそして優しく見守っている。

1 「東海道五拾三次之内 由井 薩埵嶺」
都立中央図書館特別文庫室所蔵

【参照サイト】
都立中央図書館「TOKYOアーカイブ」　https://archive.library.metro.tokyo.lg.jp/da/detail?tilcod=0000000003-00008149
しずおか観光情報 駿府静岡市　https://www.visit-shizuoka.com/gokuraku/content.php?t=8
薩埵峠（ハイキングコース）　https://www.visit-shizuoka.com/spots/detail.php?kanko=314
☆追伸:江戸時代の難所薩埵峠は、現代にあってはハイキングコースに様変わりする。陸海山の長閑な景色と東西交通のダイナミズムを堪能することができる。



2 東名高速道路/国道1号線/東海道本線の交通インフラが併走する
【提供：林直樹氏】



3 幾重もの光彩が交錯する日本の動脈
【提供：林直樹氏】

Episode11

## 稚内港北防波堤ドーム

### ― 北海道庁技師土谷実の偉業が令和に生きる ―

■施設データ:稚内港北防波堤ドーム
土木学会選奨土木遺産HPより引用:
http://www.jsce.or.jp/contents/isan/blanch/1_5.shtml
・海陸の連絡を波飛沫から防護する類例のない設計であり、原型保存に徹した復元と補修で次代へと受け継がれるドーム型有覆防波堤
・建設年:昭和 11年／同55年復元、・平成15年度選奨土木遺産

1 ライトに浮かび上がる北防波堤ドーム【提供：NPO法人北海道遺産協議会】

日本最北端の地、北海道稚内。そこには、当地の繁栄を支えた稚内－樺太大泊間稚泊航路（ちはくこうろ）の歴史を語る巨大な建造物北防波堤ドームが現存する。稚内港の築港計画は大正期に始まるが、このドームは、昭和11年（1936年）航路の港湾施設として誕生した。

現在、コンクリート製の半アーチ式ドームは80余年の星霜を重ねたが、原型保存と補修/補強により、防波堤として現役を貫いている[Photo1], [Photo2]。平成期に入り、北海道遺産および土木学会選奨土木遺産に選定されている。

当時26歳の北海道庁の技師土谷実が設計した堅牢瀟洒なドームは、古代ローマの柱回廊、重厚なゴシック建築など様々な麗句にて紹介されている。70本のエンタシス柱に支えられた427mに及ぶ直線回廊は当初乗降客用の通路であったが、[Photo2]を見て頂きたい、極寒の地に静謐な内空間を創出していることも付記したい。

なぜこのような設計を敢行したのか。俊英土谷技師の設計意図が、いくつかのWEB サイトにて紐解かれている。

この稚泊航路は終戦直後に廃止されたが、ドームの南側に建立された記念碑が、栄光と苦難の稚泊航路の歴史を伝えている[Photo3]。そして、令和期まで受け継がれた北防波堤ドームは港湾施設として機能する一方、観光スポット、CMやTVドラマなどのロケ地としてもよく知られている。

戦前の誕生から、昭和・平成・令和にわたる港湾建造物のクロニクル（年代譜）として、次世代に伝えたい土木の物語である。そして、原型保存に携わった多くの方々にも感謝したい。

2 ドーム型屋根と70本の柱列に支えられた回廊【提供：NPO法人北海道遺産協議会】

3 昭和45年に建立された稚泊航路の記念碑



Episode12

## 横浜ベイブリッジが豪華客船を丁重に出迎えた

### ― 巨大エンジニリングの傑作は何か言葉を交わしている ―

■構造物データ：高速湾岸線 横浜ベイブリッジ
・橋梁形式：3径間斜張橋
・橋長860m、中央径間460m、主塔の高さ（海面上）175m
・供用開始：平成元年9月27日
・道路構造：上層/首都高速道路、下層/国道357号線

それは、2014年3月16日の出来事であった。世界を周遊する豪華客船クイーン・エリザベス号が横浜ベイブリッジの中央支間直下を通過して[Photo1]、初めて横浜港に入港した。

次の掲載写真[Photo2]をよく見ていただきたい。豪華客船が干潮時を狙い、ベイブリッジの直下をぎりぎりでくぐり抜けている。横浜港周辺には多くの人たちが集まり、この歴史的瞬間に固唾をのんで見守った。当時のThe PAGE （Yahoo！ニュース）の記事によれば、クイーン・エリザベス号の高さは56.6m。これに対して横浜ベイブリッジの高さが55mで、潮位が下がる時間に合わせ、橋梁すれすれで通過したとのこと。

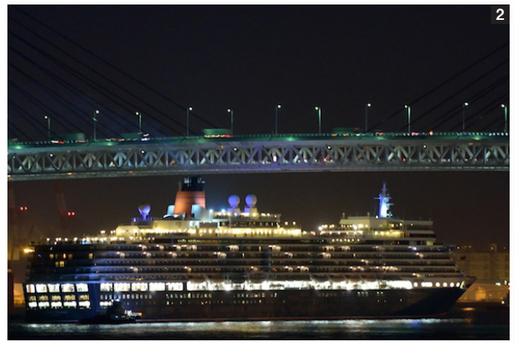
多くのメディアの関心は、主役としてのクイーン・エリザベス号に向けられていたが、土木技術者としては、横浜港に四半世紀鎮座するベイブリッジが、数千人のお客様を丁重に出迎え、そして安全に見送ったと考えたい。

もう一度この写真をよく見ていただきたい。傑出したエンジニアリングの両雄が、“動と静に分かれて邂逅”した瞬間であり、何か言葉を交わしているようにも見える[Photo3]。造船工学と橋梁工学の異なるエンジニアリングの傑作が、堅牢瀟洒な建造物を称え合い、そして長きにわたる安全な運用を誓っているのではないか。

豪華客船を見送った横浜ベイブリッジは、いつもと同じように夥しい交通量をさばき、港湾物流を担う“日常業務”におさおさ怠りない。

【参考資料】 Yahoo!ニュース　https://news.yahoo.co.jp/articles/f6e35864be797213ce759d675d66e86a5329169f

1 横浜港には多くの人たちが集まり、クイーン・エリザベス号を出迎えた



2 横浜ベイブリッジを通過するクイーン・エリザベス号

3 エンジニアリングの両雄が言葉を交わしているようにも見える

【提供：林直樹氏】

吉川 弘道 関連サイト

Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング －インフラ大図鑑－　https://www.doboku-watching.com/

# 土木が好きになる27の物語

連載 vol.5

— Infrastructure for the Next Generation —


吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に「都市の地震防災」（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。


Episode13

## 2000kW級風力発電：陸上から洋上へ

### —着床式洋上風力発電実証研究（NEDO）—

■再生可能エネルギーの特徴
太陽光・風力・地熱・中小水力・バイオマスなどの再生可能エネルギーは、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源。

【出典：資源エネルギー庁】 https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/index.html

再生可能エネルギー（Renewable Energy）のエース格と目される風力発電は世界的に普及が進んでいるが、我が国では今世紀に入りようやく導入件数が加速している。そして、現在では、風車の立地が従来の陸上から洋上に移行している。いわゆる洋上風力発電（Offshore Wind Power Generation）の登場で、既にヨーロッパ数か国が先行している。

そこで、新エネルギー・産業技術総合開発機構NEDOが主導する、千葉県銚子沖の沖合風力発電実証研究を紹介したい[Photo1],[Photo2]。ここでは、大型の着床式洋上風車および近傍に設置された洋上風況観測タワーが主役であるが、NEDOの公開資料に拠れば...

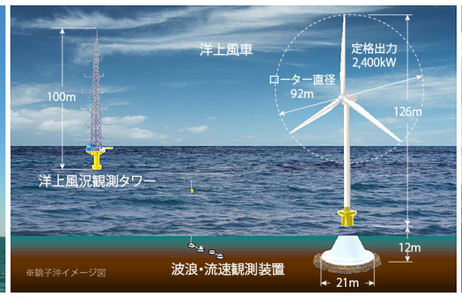
・洋上風車:陸上で主流の2,000kW級の国産風車を用い、塩害対策や遠隔操作を可能とするシステムを搭載した風車。
・洋上風況観測タワー:洋上風車から285m離れた位置に設置。海面高さ200mまでの風向/風速を観測できる観測施設。洋上風車と観測タワーともに、沖合に設置されたのは国内初とのこと。

風車を沖合に設置することのメリットは、風況が良く乱れが少ない、土地道路など周囲の制約が少ない、景観/騒音などの影響が小さい、などが挙げられる。一方、従来の地上式に比べて、洋上設置による建設費と維持管理費および海底ケーブルや変電設備などによるコスト増が課題となっている。

[Photo3]は、沖合に風力発電所を複数建設する近未来図である。長い海岸線を持つ我が国の沖合に、100m超の風車が並立するその姿は誠に壮観であり、頼もしくもある。

今回は次世代の再生可能エネルギーの実証研究を採り上げたが、"2050年までに温室効果ガス排出を実質ゼロにする目標"が掲げられ、風力発電の期待は増すばかりである。この洋上風力発電を物語は、そのまま若者（≒次世代）へのメッセージでもあり、高校生/大学生諸君が、何かワクワク感/高揚感を感じて貰えればこれに勝るものはない。未来はすぐにやってくる。

1 洋上風力発電：洋上風車（右手前）と洋上風況観測タワー（左奥）




2 洋上風車と洋上風況観測タワーの構造概要

3 洋上風力発電建設の近未来図

【資料・画像提供：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）】
【参照：プロジェクト概要】 https://www.nedo.go.jp/fuusha/gaiyo.html

フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP
https://www.instagram.com/forum8jp/
https://twitter.com/FORUM8JP



Episode14

## 土木の曲線美（コンクリート編）

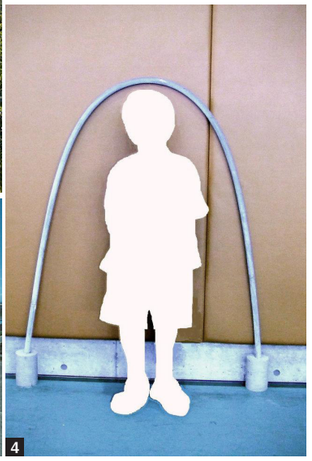
### —コンクリートは、曲線と曲面が得意なのです—

■コンクリート材料の特徴
土木建築原子力構造物に多用されるコンクリート材料は可塑性が特徴であり、造形の自由度が高い。これまで、様々な曲面型枠が製品化され、かつコンクリート材料の調配合や打設方法にも長足の進歩がある。

1

2

3



4

1 徳島自動車道池田へそっ湖大橋
（提供：四国徳島三好市公式観光サイト）
https://miyoshi-tourism.jp/spot/ikedahesokkoohashi/
2 つくば科学万博 国連平和館
（提供：安藤ハザマ）
3 卵形汚泥消化タンク
（提供：鹿島建設）
4 モルタルカテナリー
（制作:都市大コンクリート研究室）

土木構造物には曲線構造や曲面構造が多く用いられているが、ここではコンクリート材料の特性を生かした構造物として、4つの事例を紹介したい。同じものは二度と建設されないであろう一品製品は、時代を感じさせないコンテンポラリーな曲線美を体現している。

☆☆☆

[Photo1] PC5径間連続逆ランガーアーチ橋（徳島自動車道 池田へそっ湖大橋：平成12年（2000年））

数あるコンクリートアーチ橋の中でも、この池田へそっこ大橋は何か心惹かれる。橋長705m最大スパン200mの5径間連続道路橋は、RC逆ランガーとPC箱桁ラーメンの併用により見事な構造美を呈している。直線部材が併用されてこそ、アーチ部材の優美さが生きてくるのでは。

☆☆☆

[Photo2] プレキャストPC半球シェル（つくば科学万博 国連平和館：昭和60年（1985年））

大空間を構築するための架構方式として球面シェル構造が採用されている。直径41mの完全球体の底部18/40を切取った構造。緯度９°のプレキャスト部材×40モジュール（１モジュール４分割）を専用工場にて製作し、現地にて組立て/緊結された。万博会場内に競うが如く設置された多くのパビリオンの中でも、シンプルな構造美と室内の大空間が異彩を放っていた。

☆☆☆

[Photo3] 卵形をした汚泥消化タンク（横浜市北部汚泥処理センター：1980年代）

西ドイツ（当時）より導入された卵形消化タンクは、その優美な構造形式が大きな話題となった。精緻な中空軸対称シェル構造は、汚泥物の攪拌性能と保温効果の優れた効率的な汚泥処理能力を併せもつ。一方では、3次元の耐震設計/構造解析、2方向プレストレスの導入、曲面構造の施工など、高度なテクノロジーと蓄積された経験値が要求される。

☆☆☆

[Photo4] モルタルカテナリー（東京都市大学コンクリート研究室：2010年頃）

建築家アントニ・ガウディがこよなく愛したカテナリー曲線を特殊モルタルで制作した。市販のゴムチューブに流動性モルタルを圧入後、数日かけて硬化させた。チューブを撤去し、反転して出来上がり。注入時は全引張応力状態，反転して全圧縮応力であり，重力を利用してカテナリー曲線（まさしく懸垂曲線）を忠実に再現している。

☆☆☆

アーチダムやアーチ橋など曲線構造/曲面構造は、コンクリートの得意とするところであるが、3DCADやBIM/CIMの発展普及により、多くの構造形式が試みられている。合理的に設計された曲線構造/曲面構造は機能性と造形美を兼ね備えている。既に、曲面型枠や材料の高性能化が進み、これからどんな造形美が生み出されるのか、楽しみである。

Episode15

## 明治/大正/昭和/平成/令和に連なる余部橋梁

### ― 鋼トレッスル橋はエクストラドーズド橋に代替わりした ―

■施設データ：JR山陰本線 余部橋梁（兵庫県）
・発注者：JR西日本
・形式: 5径間連続PC箱桁エクストラドーズド橋
・上部工：橋長310.6m, 最大支間長82.5m,主塔高さ5.0m
・下部工：橋脚4基、橋台2基
・供用：平成22年（2010年）

明治45年（1912年）に建設された、JR山陰本線余部鉄橋（あまるべてっきょう 兵庫県香美町）は、当時、東洋随一の鋼トレッスル橋（Steel Trestle Bridge）として多くの人々に利用されていた[Photo1][Photo2]。戦後、地元の要望のもと餘部駅が開設されたが、日本海沿岸の厳しい気象条件を受け、遅延/運休が頻発していた。また、昭和61年(1986年)に列車転落事故が発生し、平成期に入り余部鉄橋対策協議会が発足した。

100年にわたり当地の厳しい風雪に耐えてきた橋梁も「安全輸送の確保」「現実的な維持管理」の観点から、コンクリート橋への架け替えが決定され、2007年から工事が開始し、平成22年（2010年）に現在の新橋が完成した。新余部橋梁は最先端の橋梁技術を駆使し、PCエクストラドーズド橋（PC Extradosed Bridge）として再生したのだ[Photo3]。

餘部駅には旧橋の一部を利用した展望施設“空の駅”や公園施設も併設され、貴重な旧橋の鋼部材の一部が現地に保存/展示されている[Photo4]。当地の新しい鉄道観光施設の誕生である。また、旧余部橋梁（余部鉄橋）は、土木学会選奨土木遺産として登録されていることも付記したい。

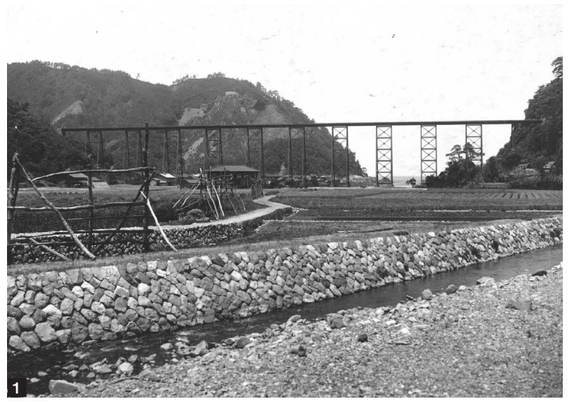
https://committees.jsce.or.jp/heritage/node/830

選奨理由：「明治末期に東洋一の橋りょうとして建設され、また適切な補修により1世紀にわたりほぼ建設当時の姿を残した貴重な土木遺産」

さて、旧橋誕生から100年を経て代替わりしたJR山陰本線余部橋梁は、明治/大正/昭和/平成/令和の5代に渡る鉄道橋のクロニクル（年代譜）を体現している。鋼製の旧橋（鋼部材は米国製とのこと）もコンクリート製の新橋も本物を間近で見ることができ、次世代に伝えたい橋梁工学の博物館でもある。

***

追伸：余部橋梁は数々の受賞歴を誇る。プレストレストコンクリート技術協会賞（作品部門）、土木学会賞（田中賞作品部門）、エンジニアリング功労者賞（エンジニアリング振興）、日本コンクリート工学会賞（作品賞）



1 2 旧余部鉄橋：鋼トレッスル橋【提供:土木学会附属土木図書館】
【出典：土木学会附属土木図書館 デジタルアーカイブス土木貴重写真コレクション】http://library.jsce.or.jp/Image_DB/koshashin/CO005_01.html

3 新余部橋梁：PCエクストラドーズド橋

4 現地に展示されている旧橋の鋼桁

参考サイト
【兵庫県公式 HP: 余部鉄橋「空の駅」－余部鉄橋の再出発 －】https://web.pref.hyogo.lg.jp/ks05/soranoeki.html
【清水建設：余部橋梁改築工事】https://www.shimz.co.jp/photo/1110.html



Episode16

## 過酷な自然に対峙するタウシュベツ川橋梁

### ― 神々しくそそり立つ11連の連続アーチ橋 ―

■施設データ：タウシュベツ川橋梁（北海道）
・旧国鉄士幌線コンクリートアーチ橋梁群の一つ。北海道遺産に選定されている。
・形式: コンクリートアーチ橋（径間10m×11連、全長130m）
・供用：昭和12年（1937年）、廃線：昭和30年（1955年）
参照：https://www.kamishihoro.jp/place/00000072

1

2

3

4

1 【林直樹氏2015年8月撮影】 2 【草野みゆき氏2019年9月撮影】
3 【林直樹氏2020年9月撮影】 4 【草野みゆき氏2019年9月撮影】

北海道上士幌町（かみしほろちょう）のダム湖糠平湖（ぬかびらこ）を横断する全長130mのタウシュベツ川橋梁は、多くの見学客や写真家を魅了する究極のインフラツーリズムスポットである。タウシュベツ川橋梁は旧日本国有鉄道士幌線の一部で、（現地説明板によれば）昭和12年（1937年）に建設され、戦後、昭和30年（1955年）に路線の敷き変えにより廃線になり、そのまま存置されている。

発電に湖水を使用する糠平湖は、電力需要に応じて水位が変動する。年によって異なるが、晩秋に満水となり姿を隠し、冬季に水位を下げ春先にその11連アーチを露にする。毎年見え隠れするため“幻の橋”の異名をとり、四季折々の自然環境に千変万化する姿形は感動的でもある（[Photo1]から[Photo5]までの写真をご覧あれ！）。

この鉄筋コンクリート高架橋は、当地の厳しい気象条件のもとかなりの劣化/損傷を免れず、年々朽ち果てていくその様子が話題になっている。極寒期には最低気温が-25℃を下回ることもあり、日較差が大きいことも凍害を促進する。コンクリート工学的には、凍結融解作用（freezing and thawing cycles）と呼ばれる、凍結と融解の繰り返しによる寒冷地特有の劣化現象である。当地のタウシュベツ川橋梁は、前例のない長期の暴露試験を継続していることになる。加えて、平成15年（2003年）に発生した十勝沖地震の洗礼を受けているとも聞いている。

既に主（走行列車）を失い、現地に放置された高さ10mの11連アーチ橋は、文字通り80余年の風雪に耐え、その凛とした立ち姿には何か神々しい佇まいを感じる。同時に、当時の先端技術である高架橋の設計/施工に従事した鉄道土木の先達に畏敬の念をもって感謝したい。

☆追伸：
現地見学には、下記センターが主催するツアー（有料/予約制）をお勧めします。
NPOひがし大雪自然ガイドセンター：
http://www.guidecentre.jp/
また、当センターには、気象情報などを取材させて頂きました。

5 【提供:上士幌町観光協会 2006年2月撮影】
https://kamishihoro.info/sg_detail.php?id=30

吉川 弘道 関連サイト
Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング －インフラ大図鑑－　https://www.doboku-watching.com/

# 土木が好きになる27の物語

— Infrastructure for the Next Generation —

連載 vol. 6

Civil

吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。

Episode17

## 神流川水力発電所に構築された地下大空洞

### —有効落差653mを受止める巨大地下発電所の威容 —

■揚水式発電所とは:
大容量の水の位置エネルギーを利用した蓄電施設。通例、"深夜の余剰電力を使って上池に揚水して、日中の需要ピーク時に発電する"ことを目的とする。特に、電力需要ピーク時の安定供給と電力の平準化として効果を発揮する。

揚水式水力発電所は、中核となる発電施設を地下式とすることが多い。今回は、平成期のビッグプロジェクト、東京電力神流川（かんながわ）発電所の事例を紹介したい。群馬県と長野県に跨る純揚水式神流川発電所の主要施設（２県２水系）は、最も高地に位置する南相木ダム（上部調整池 ロックフィルダム）[Photo1]、中間地点の地下発電所[Photo2, Photo3]、そして最下部の上野ダム（下部調整池 重力式ダム）[Photo4]にて構成される。

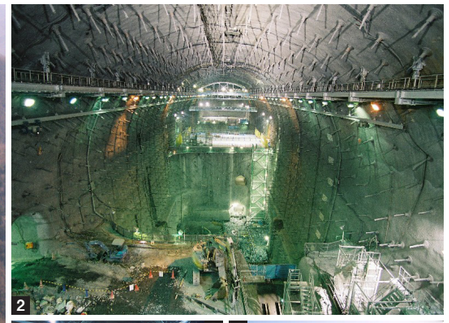
このうち、深度500mに構築された地下発電所は、発電/変電施設を収めるため、高さ52m×幅33m×長さ216mの大規模空洞となっている。建設に先立ち、最先端の岩盤力学（rock mechanics）が応用され、それまでの経験値とも併せ、具体的な計画/設計がなされた。特に、非常に高い地圧下において力学的な安定を図るためには空洞の断面形状が重要であるが、従来の"きのこ形"に代わり、"卵形"が採用された（[Photo2]を再度見て貰いたい）。

加えて、その施工に際しては、多くの先端技術が育まれたことを強調したい。大断面NATM工法、PCアンカー、ロックボルト、3次元有限要素解析などが長足の進歩を遂げ、情報化施工の先駆けとなったと言われている。

さて話しは変わるが、昭和世代には懐かしいSF人形劇サンダーバード（制作:イギリス）を覚えているだろうか。地下秘密基地から発進する国際救助隊サンダーバートに心踊ったが、この地下基地が群馬県に実現していたのだ。再生エネルギーの利用に寄与するため、電力平準化を遂行するため、与えられたミッションを粛々と遂行している。

【提供：すべて東京電力】

1 上部調整池/南相木（みなみあいき）ダム：ロックフィルダム



2 掘削中の地下発電所

3 稼働間近の地下発電所：発電機が設置されている

4 下部調整池/上野ダム：重力式ダム

【資料・画像出典：東京電力】
https://www.tepco.co.jp/electricity/mechanism_and_facilities/power_generation/hydroelectric_power/kannagawa-j.html
【参照：鹿島建設 多用化する NATM】
https://www.kajima.co.jp/news/digest/aug_2000/tokushu/toku03.htm



フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP
https://www.instagram.com/forum8jp/
https://twitter.com/FORUM8JP

Episode18

## 首都圏で再開された舟運事業を探る

### —江戸幕府開闢から続く運河を巡る —

■江戸東京再発見コンソーシアム:
全国に広がる水辺のソーシャルアクションに通底する問題意識を持ち、時代の流れを先取りした取組みが成果を挙げている。電気ボート江戸号にて舟運ツアーを主催する。
【抜粋:東京街人GUIDE TO AUTHENTIC TOKYO】
https://guidetokyo.info/work/forefront/00014.html

先ずは、清州橋と東京スカイツリーを収めた[Photo1]を見て頂きたい。さながら隅田川に鎮座する新旧巨大インフラの競演であり、年の差84歳の豪快なツーショットでもある。先輩格は関東大震災復興事業で建設された自碇式吊橋（昭和3年完成）、かたや新参者は高さ世界一の自立式電波塔（平成24年完成）。

これは、"お江戸日本橋舟めぐり"（国土文化研究所）の体験乗船の折り、船長さんの計らいで絶好のカメラスポットに停船して貰った時のこと。私たち乗船客はこの時とばかりにシャッターを切ったのだ。このほかにも、各種舟運コース沿川には多種多様の見所スポット/インスタ映えスポットがあり、例えば、水位差のある河川網を連結する扇橋閘門[Photo2]、倉庫をリノベーションしたレストランT.Y.HARBOR[Photo3]など、"川目線"から周辺施設を探訪する舟運の醍醐味は尽きない。

さて、平成20年頃だろうか、水上観光や水上交通手段の促進と定着化を図るため、いわゆる舟運事業について多くの試みがなされた。水辺空間活用（東京都都市整備局）、舟運社会実験（国土交通省）、お江戸日本橋舟めぐり（江戸東京再発見コンソーシアム）など、魅力的なチャレンジが始まったことは記憶に新しい。これはまた、桟橋/船着き場/小型船ターミナルを生かした航路船の利活用（水上バス、シーバス、水上タクシー、歴史クルージングetc.）などに繋がり、臨海部の新たな魅力を引出すことが期待できる。そもそも、江戸時代に栄えた屋形船が舟運事業の先駆けであり大先輩では。

改めて、首都圏は水の都である。その起源は徳川家康入府に遡り、構築されたお堀や運河は河川遺構であり、現役の舟運水路でもある。加えて、大規模地震等災害時の防災施設としての機能（東京低地河川活用推進会議）も忘れてはならない。日常と緊急時にて機能する河川インフラの良きお手本であり、江戸幕府開闢の意図が連綿と引き継がれている。

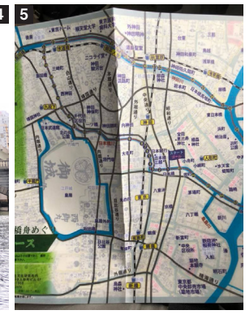
1 年の差84歳のツーショット：清州橋と東京スカイツリー

2 感潮河川（隅田川方面）と水位低下河川を繋ぐ扇橋閘門（2019年耐震補強工事が完了し、景観も変わっている）

3 倉庫をリノベーションしたレストランT.Y.HARBOR 4 日本橋船着き場に向かう電気ボート江戸東京号 5 神田川コースの運航図：江戸時代古地図と重書きしている（提供：国土文化研究所）

3

4



5

☆追伸：今回の画像は、"お江戸日本橋舟めぐり"（国土文化研究所）にて撮影したものである。乗船した電気ボート"江戸東京号"[Photo4]と舟めぐりコースの運航図[Photo5]を参照されたい。詳しくは…
【国土文化研究所舟めぐり】https://www.facebook.com/funameguri/
【江戸東京再発見コンソーシアム HP】https://oedo-nihonbashi-funameguri.jp/

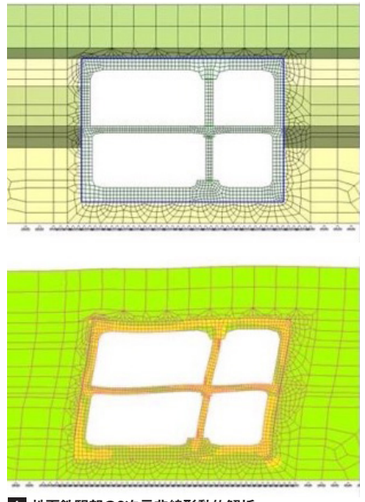
Episode19

## 有限要素法の美学：Art and Beauty of FEM

### ― サイバー空間に映し出された土木のアート ―

**■有限要素法FEMの分類:**
**有限要素解析は、大きく、2次元・3次元、線形解析・非線形解析、静的解析・動的解析などに分類できる。非線形解析は、材料非線形と幾何学非線形に分けれる。また、類似の手法として、差分法FDAと境界要素法BEMが挙げられる。**

1950～60年代に欧米で出現したコンピューター解析技術 有限要素法は、今世紀に入り、長足の進歩（高度化/高速化）を遂げ、縦横無尽にその威力を発揮している。いまや、有限要素解析は構造エンジニアにとってなくてはならない相棒。その出力は、時にえも言われぬ荘厳なアートを写し出す。Episode19では、美学（structural aesthetics）の観点から、4つの事例を解説・紹介したい。



**1** 地下鉄駅部の2次元非線形動的解析（地震応答解析）

[Photo1] 上下2層構造の地下鉄駅（鉄筋コンクリート製ボックスカルバート）およびその周辺地盤をモデル化したもの。上図が通常の状態（自重や土圧が作用）で、下図が地震荷重により、激しく横揺れしている状態。いわゆるラーメン構造（梁柱が剛結構造）の水平抵抗機構を直視することができる。

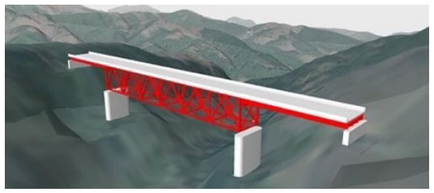
[Photo2] 鋼鈑桁+鋼製トラスで構成される道路橋。上図はバーチャルリアリティーを併用して谷あいに架橋された様子を再現している。下図は3次元構造図で、種々の過酷な荷重（活荷重、死荷重、地震荷重、風荷重 etc.）を課し、強度/変形等をチェックする。また、景観アセスメントにも利活用され、ICT技術の先兵でもある。

[Photo3] 供用中の道路橋橋脚（高さ12m）の近隣での掘削工事（幅10m 深さ10m）が予定され、その影響を事前解析している。上図は掘削前の状態で、下図は掘削工事後の地盤の応力状態を示している。地盤を除去しただけでも、近隣周辺に悪影響を与えることがある。

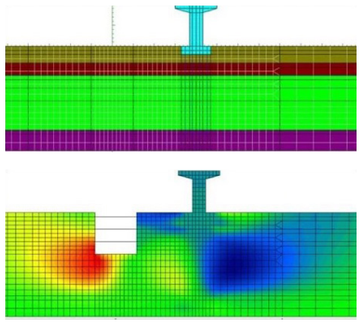
[Photo4] 長大鉄筋コンクリートアーチ橋（橋長118m）の解析要素図。種々の設計荷重に対して、設計基準に合致するかどうか、計算機上にて検証される。本例は、102,718個に及ぶ立体6面体要素にてモデル化された壮大かつ精緻な構造設計でもある。

さて、有限要素法（FEM: finite element method）とは、対象構造物を要素分割（離散化）し、荷重・変位・振動・衝撃・温度など外的な作用(action)を与えたときの数値近似解を求める計算手法。現在では多種多様の商用ソフトが開発/販売され、土木/建築/機械/原子力/自動車などの工学分野必須の解析ツールや設計ツール（ソフト技術）となっている。
過酷な荷重に対して、軽微な損傷から崩壊などリアルな非線形解析を何回も試算/設計することができる。加えて、最先端の可視化手法（画像化）により、‘その耐え忍ぶ様子’を観察することができることも大きな魅力。

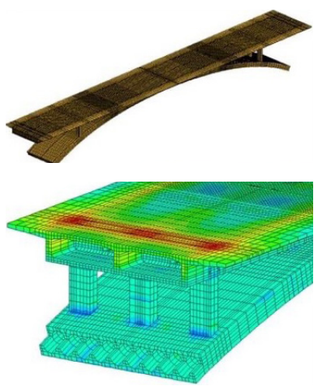
Episode19では、解析手法や解析結果を吟味/議論するのではなく、出力された荘厳美麗な画像をただただ堪能されたい。次世代を担う若者にお裾分けしたい、次世代に伝えたい土木の美学（art and aesthetics of FEM）である。



**2** 鋼製道路橋の3次元動的非線形解析（VRおよび構造図）



**3** 近接掘削工事検討のための2次元静的解析



**4** 上路式RCアーチ橋の3次元大規模解析

【画像提供：4 例ともフォーラムエイト】https://www.forum8.co.jp



Episode20

## 浪漫溢れる日本の鉄道駅舎

### ― 歴史と格式を令和に伝える駅舎の素顔 ―

**■日本の鉄道駅舎：**
**日本の鉄道は、明治5年、新橋～横浜間の6駅を有する鉄道路線として始まり、明治末期までに全国の幹線網がほぼ完成された。現在、駅舎総数は9000を優に超え、その構造形式は地上駅、橋上駅、高架駅、地下駅など多様化している。**

**1** JR 四国琴平駅（香川県） **2** 旧国鉄大社駅（島根県）【著者撮影】 **3** JR 九州嘉例川駅（鹿児島県）【画像：鹿児島県観光連盟】 **4** 東急電鉄田園調布駅復元駅舎（東京都大田区）【著者撮影】 **5** JR 北海道原生花園駅（北海道）【著者撮影】

明治期に開花した鉄道インフラはやがて全国に及び、現在、鉄道駅舎は9000を超えると言われている。これらの多くは地域の発展とともに歴史を重ね、そのクロニクル（年代譜）を令和の現代に伝えている。Episode20では、伝統と格式を誇る5つの駅舎を、その画像とともに紹介したい。『なぜ、*****駅がないんだ！』のお叱りは収めて頂き、先ずは駅舎のファサードとも言うべき表玄関をとくとご覧あれ。

[Photo1] JR四国琴平駅（香川県）
明治22年（1889年: 大日本帝国憲法が発布された年でもある）に開業した琴平駅は、昭和11年（1936年）に現在の駅舎が竣工。有形文化財に指定されている木造平屋建ての洋風駅舎は、金刀比羅宮参りの起点として馴染み深い。

[Photo2]旧国鉄大社駅（島根県）
【著者撮影】
旧国有鉄道大社駅は明治45年（1912年）に開業し、大正13年（1924年）に改築。JR大社線は既に廃止され、駅舎は国の重要文化財に指定され、当地に保存されている。出雲大社の門前町に相応しい重厚な日本風木造建屋は、多くの観光客を魅了する。

[Photo3] JR九州嘉例川駅（鹿児島県）
【画像：鹿児島県観光連盟】
明治36年（1903年）に開業したJR九州肥薩線の木造駅舎は、既に100余年の歳月を刻んでいる。静かな山間に佇む嘉例川駅はノスタルジックな駅舎が魅力。観光特急が停車する無人駅でもある（国の登録有形文化財に指定）。

[Photo4] 東急電鉄田園調布駅復元駅舎（東京都大田区）【著者撮影】
平成2年（1990年）地下化工事に伴い解体されたが、歴史的な建造物の保存から平成12年（2000年）に復元され、高級住宅街に通じる西口ロータリーの顔となっている。異彩を放つ屋根のデザインは、マンサード・ルーフという欧州中世紀の民家がモデルと言われている。

[Photo5] JR北海道原生花園駅（北海道）
【著者撮影】
北海道を象徴する広大な小清水原生花園（網走国定公園）にアクセスする季節営業駅（昭和62年（1987年）開業）。ＪＲ釧網本線（せんもうほんせん）の臨時駅は、オホーツク海、湿地草原帯、濤沸湖が繰り広げるパノラマビューの中にポツンと佇んでいる。

さて、明治・大正・昭和に開業した数千の駅舎は言わずもがな地域のシンボルであり、現世代にとっては生まれたとき当たり前のように鎮座している。そして、駅は人々が集う空間であり、また観光ポスターの顔にもなることしばしば。

加えて、一日当たりの乗降人員が2万人を数える田園調布駅から、100人に満たない嘉例川駅、季節営業の原生花園駅等々、それぞれの鉄道駅はそれぞれのミッションがある。初めて訪れる旅行者やビジネス客には伺い知れない歴史と伝統を内包し、令和にその風格を繋いでいる。

**吉川 弘道 関連サイト**
Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング －インフラ大図鑑－　https://www.doboku-watching.com/

# 土木が好きになる27の物語

— Infrastructure for the Next Generation —

連載 vol. 7

Civil

吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。

Episode21

## ヨーロッパを陸続きにした鉄のモグラTBM

### —EU統合の象徴ユーロスターの開業 —

■開業から四半世紀を迎えたユーロスターEurostar:
1994年に開業した高速鉄道ユーロスターは、既に四半世紀が経過した。2016年にはアムステルダム（オランダ）までの運行が開始し、ヨーロッパの主要な交通施設となっている。最高速度300km/hで走行し、主要都市（ロンドン-パリ:2時間15分、ロンドン-ブリュッセル:1時間50分）を高速で繋ぐ。

WELCOME “EUROPA” BIENVENUE [Photo1]。1991年5月22日、欧州大陸とイギリス本島を結ぶ英仏海峡海底鉄道トンネルの1本が貫通した瞬間である。賢らに歓喜することなく坑内業務に勤しむエンジニアの姿が心を打つ。一転して[Photo2]は、偉業を成し遂げたエンジニアたちの誇らしげな記念写真である。

20世紀末に巨歩を記した大プロジェクトには、このように説明されている。『4,000万年前氷河期に分断されたブリテン島を再び陸続きにするという、ナポレオン以来の壮大な夢を実現させたのは、川崎重工製の2基のトンネル掘削機TBMであった』

世界記録を残した
川崎重工のトンネル掘削機

トンネルボーリングマシン（TBM: Tunneling Boring Machine）とは、地盤/岩盤中を巨大なカッターヘッドで掘削し、支保するマシンである（[Photo3]は、現地搬入前の国内での仮組立と試運転）。このプロジェクトでは、海面下100m、海底下40m、10気圧のもとで敢行され、最大月進1,200m（おそらく世界新記録であろう）を樹立したことも強調したい。

EU統合の象徴として1994年（平成6年）に開業した高速鉄道ユーロスターの運用は、既に四半世紀が経過。2016年（平成28年）アムステルダムへの新路線開通を機に、家族旅行でロンドン-ブリュッセル間に乗車した。ロンドンを始発してやがて英仏海峡海底トンネル通過のお知らせが車内に掲示された[Photo4]。日本人として何とも誇らしい気分で、廻りの西欧人（??）に伝えようかと辺りを見渡したが、思いとどまり同行の家族に説明した次第である。

【謝辞：川崎重工から提供された画像と資料により〝物語〟にしました】 https://www.khi.co.jp/stories/articles/vol62/

1 1991年英仏海峡海底トンネルT2が貫通した（提供：川崎重工） 2 英仏海底トンネルの開通に沸く坑内（提供：川崎重工）
3 現地搬入前の組立と試運転を終えたTBM（川崎重工・播磨工場） 4 海底トンネルの通過を知らせる車内の電光掲示。ロンドン発ブリュッセル行ユーロスターにて著者撮影（2018年5月）



フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP
https://www.instagram.com/forum8jp/
https://twitter.com/FORUM8JP

Episode22

## 長大吊り橋のメカニズム

### —どういうメカニズムで長大橋を支えているのか？ —

■長大橋の構造比較:吊り橋vs.斜張橋
橋のスパンが200mを超すと、斜張橋または吊り橋が選択されることが多い。どちらも吊り構造のため外観は似ているが、その耐荷メカニズムは異なる。
・吊り橋:ハンガーロープが橋桁を支えている。主ケーブルは多数のハンガーロープの重みによってたわんで曲線を描く。
・斜張橋:主塔から斜めに張られたケーブルが、直接橋桁を支える。
最大スパンから言えば吊り橋が勝るが、構造は複雑になりより長い施工期間となる。

吊り橋（Suspension Bridge）とは、ケーブルなど高強度で曲がりやすい部材により橋桁と床版を吊り下げる橋の総称。近代の大型吊り橋は、通例2本の主塔を設置し、その背面にアンカレイジとなる橋台を設け、その間（橋台～主塔～主塔～橋台）に張り渡した主ケーブルにより、通行路となる橋桁（補剛桁）を吊り下げる。下から見上げた補剛桁[Photo1]から、長い長い支間距離（桁下空間）をとっていることに着目されたい。ただし、[Photo１]に見えてる支間は、世界最長の中央支間ではなく側径間である。

吊り橋の構造的なメカニズムを知るには、その主要部材に着目することから始まる。ここでは、明石海峡大橋を例にとり、4つのPhotoによって、順次、主塔+下部工、橋台、主ケーブル、補剛桁（橋桁）の写真を提示したい。巨大橋梁の解剖である。先ずは、主塔[Photo2]が、海面下の下部工の直上に設置される。両端の橋台が主ケーブル[Photo3]に生じる膨大な引張力を受け止める巨大なアンカレイジ（Anchorage）として機能し、その自重と底面との摩擦力により抵抗する（主塔側に、引き込まれない様に踏ん張っている）。

吊り橋は、高く堅牢な主塔が主ケーブルを通じて橋全体を保持していると見ることもでき、主ケーブルには引張力、主塔には圧縮力が作用する。地盤と繋がるのは、通例、両側のアンカレイジと主塔基礎の4カ所であることも重要なポイントとなる。主塔～橋台間および主塔～主塔間に張り渡された主ケーブルは、直下に多数のハンガーロープ（吊索）を吊り下げ、今度は、ハンガーロープが橋桁を吊り下げることになる。[Photo3]は主塔～橋台間の写真であり、遥か遠方には橋台（アンカレイジ）[Photo4]が鎮座している。吊り下げられた橋桁とその床版は通行荷重を支え、鉄道橋や道路橋として機能する（[Photo5]は補剛トラスを内部から見たもので、通行路ともなっている）。橋桁自体は、通行路として橋の形状を保つ剛性・強度があれば十分なので、補剛桁とも呼ばれる。

主塔間の距離は中央支間（Center Span）と呼ばれ、世界の長大橋梁は中央支間の距離を競っている。多くの橋梁形式の中で、吊り橋は最も長い中央支間を採ることができ、例示した明石海峡大橋は、世界最長1991mを誇る。一方では、このような巨大構造物は複雑多岐にわたる構造設計が必要になる。柔構造があるが故、特に耐風安定性に対する入念な検討が必要である。

さて、締め括りとして、吊り橋の全体像を見て頂きたいが、紙面の容量もあり、下記サイトを閲覧されたい（敢えて、上記とは別の長大吊橋を例示している）。

土木ウォッチング
「臨海副都心と都心を結ぶレインボーブリッジ」

本来なら、橋梁そのものの自重（死荷重Dead Load）をどのように支えているのか、車両や列車などの交通荷重（活荷重Live Load）をどのように受け止めるのか、大地震が襲来した場合（耐震設計Seismic Design）、台風が襲った場合（耐風設計Wind Resistant Design）などについて、それぞれの耐荷メカニズムを説明する必要がある。機会を改めて紹介／解説したい。

1 先ずは、補剛桁を見上げてダイナミズムをご覧あれ 2 正面と遠方の2本の主塔を確認されたい 3 2本の主ケーブルに多数のハンガーケーブルが垂れ下がる
4 コンクリート製の橋台（補剛トラスと太い主ケーブルも見える） 5 補剛桁を内部から見る（点検や見学にも使われる）

Episode23

## 地下に建造された巨大水槽スーパーカミオカンデ

### ― 先進の空洞掘削技術が可能にした地下実験施設 ―

**■ニュートリノ天文学を結実させた巨大水槽:**
**岐阜県神岡町（現・飛騨市）に建設された地下実験施設は、小柴教授（東京大学）が構想・実現した。超純水を満たす巨大水槽の容量は、カミオカンデ（3000トン）、スーパーカミオカンデ（5万トン）、次世代施設ハイパーカミオカンデでは26万トンとも伝えられている。【参考:讀賣新聞2020年11月19日夕刊】**

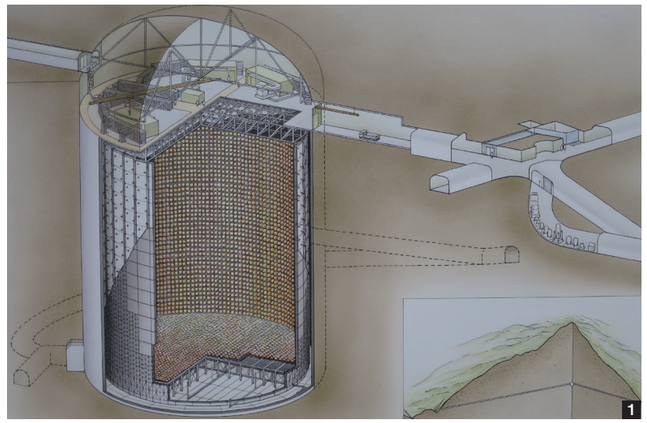
岐阜県神岡鉱山の地下1,000mに建設され地下実験施設スーパーカミオカンデ[Photo1]。巨大な地下空間を5万トンの純水で満たし、宇宙から降り注ぐ素粒子ニュートリノの検出実験を実施するもので、1996年より観測が開始された。一連の研究成果は梶田隆章教授のノーベル物理学賞（2015年）に発展し、日本中が湧きあがったことは記憶に新しい（その前身であるカミオカンデは1983年に稼働し、その後小柴昌俊教授のノーベル物理学賞（2002年）に繋がった）。

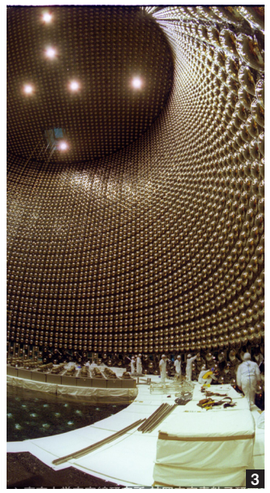
さて、この巨大な地下実験施設は、連綿と続く我が国の採鉱技術や地下掘削技術（岩盤大空洞構築技術 Rock Engineering）が、大きく寄与したことは間違いない。先ずは[Photo1]をご覧あれ。岩盤空洞の形状は、直径40m高さ45.6mの円筒形および上部に接続する高さ12mの半回転楕円体ドームにて形成される。これは、空洞の力学的安定および建設費の観点から設計された軸対称構造である。工法的には、スムースブラスティング、NATM工法（吹付コンクリート）、先進グラウト工法、長尺ロックボルトなどが重要な要素技術である[Photo2]。加えて、岩盤挙動計測（内空変位、ボルト軸力etc.）および3次元弾塑性FEM解析などが試みられ、情報化施工（Computer Aided Construction）の先駆けでもあった。

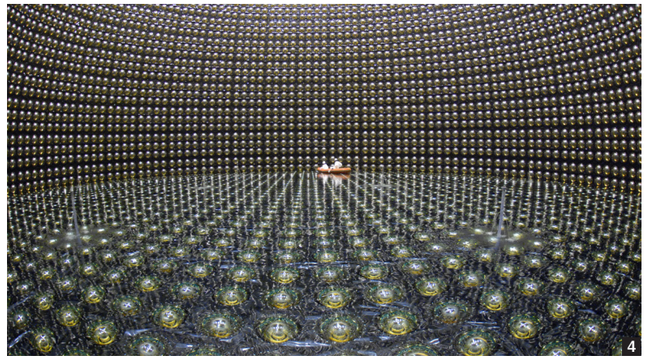
東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設が主導する一連の研究は、カミオカンデからスーパーカミオカンデ[Photo4]と受継がれ、それぞれノーベル物理学賞に繋がったことは日本人の誇りでもある。その後継として、国際協力科学事業ハイパーカミオカンデの計画が報じられている。ここでは、更なる大容量の地下水槽（容量26万トンとも伝えられている）を必要とし、先進の大空洞構築技術が再登場することになる。

そして、このEpisode23を閲覧している若手エンジニア、学生/院生諸君が、この国際プロジェクトに参画することも、あながち夢物語ではない。わが国の誇るノーベル物理学賞の栄光の方程式を担う、鉱山エンジニアや建設エンジニア達を鼓舞激励したい。

**【写真提供：東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設】**







**1** スーパーカミオカンデの全体構造図
**2** 岩盤内に建設中の地下空間（円筒形+半回転楕円体ドーム）
**3** 水槽内壁の超高感度光電子増倍管の設置作業
**4** 超高感度光電子増倍管の設置完了後、純水が満たされる

■ 東京大学宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設 HP
http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/
■ スーパーカミオカンデ 公式 HP
http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/news/
■ 参考文献：スーパーカミオカンデの空洞掘削について
https://www.jstage.jst.go.jp/article/shigentosozai1989/111/6/111_6_381/_pdf

**【出典：すべて東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設】**



Episode24

## 日本の国際空港メガエアポートを巡る

### ― 空港土木施設に興味津々 ―

**■滑走路の長さと方向：**
**滑走路の長さは、大型ジェット旅客機で2500m、長距離国際線では3000m程度必要とする。日本で最も長い滑走路は、成田空港A滑走路と関西空港B滑走路の4000m。また、滑走路の方向は、気象条件や地理条件の制約を受けて設計/建設され、（新千歳空港の場合）01/19のような指示指標にて表示される。近代の国際空港では複数本の滑走路を運用し、より効率的な安全運航に努めている。**

空港施設は、誘導路、エプロン（駐機場）、滑走路、旅客ターミナルビル、貨物ビル、管制塔、格納庫など面的な拡がりを持つ複合エンジニリング施設である。企画設計に際しては、周辺の陸海空からの制約が大きく、風向きなど気象条件によって運用が左右されることなど、空港ならではの特徴に配慮することが欠かせない。

旅客ターミナルに代表される華やかな国際空港はワクワク感満載であるが、運航を下支えする空港土木施設については、土木技術者(Civil Engineer)の出番となる。巨大複合施設のうち、滑走路/過走帯/誘導路、エプロン、標識施設などを対象とした“空港土木施設設計要領”（国土交通省航空局）が制定されていることを付記したい。

さて、Episode24では、我が国の4つの巨大空港を採り上げ、航空写真によってその構造やレイアウトを俯瞰して頂きたい。

以下に4空港の概要を列挙したが、空港名称には英字による空港コード（IATA 3-Letter codes）を併記している（身近な例として、預入れ荷物のバゲージクレームタグに大きく印字されている）。加えて、空港施設の心臓部である滑走路の基本仕様（長さ×幅、指示指標）を記している。指示指標とは滑走路の方向を表す2桁の数字。例えば、中部国際空港[Photo3]では、手前左に36、遠方18が見えるが、それぞれ360°（北）、180°（南）を表している（当然のことながら、両数字の差は18となる）。また、成田国際空港[Photo2]のように2本の平行滑走路が運用される場合、A滑走路16R/34L、B滑走路16L/34Rと表示され、R=右側、L=左側を表す。

[Photo1]新千歳空港CTS：国内/国際航空ネットワークを担う北の拠点空港。
A滑走路：3000m×60m 01L/19R
B滑走路：3000m×60m 01R/19L

[Photo2] 成田国際空港NRT：国際線に限れば国内最大の発着規模であるが、羽田シフトが進んでいる。
A滑走路：4000m×60m 16R/34L
B滑走路：2500m×60m 16L/34R

[Photo3] 中部国際空港NGO：伊勢湾内に建設された海上空港。愛称はセントレア。
滑走路：3500m×60m 18/36

[Photo4] 関西国際空港 KIX：大阪湾泉州沖に建設された海上空港。24時間運用可能な西のゲートウェイ。
A滑走路：3500m×60m, 06R/24L
B滑走路：4000m×60m, 06L/24R

その国の顔ともなる国際空港は、今世紀初頭より、アジアを中心とした新設需要が増大している。そこでは先進のハイテク技術やアーキテクチャーに加えて、環境やセキュリティに配慮した近未来型空港施設(Future Airport)のデザインが模索されている。

**【参考：基礎からわかる空港大百科 イカロス MOOK】**

**1** 新千歳空港CTS

**2** 成田国際空港NRT （提供：国際航業株式会社）

**3** 中部国際空港NGO

**4** 関西国際空港 KIX

**吉川 弘道 関連サイト**

Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング ーインフラ大図鑑ー　https://www.doboku-watching.com/

# 土木が好きになる27の物語

— Infrastructure for the Next Generation —

連載 vol.8（最終回）


civil

吉川 弘道
東京都市大学 名誉教授

早稲田大学理工学部卒業、工学博士、コロラド大学客員教授（1992-3年）。専門は耐震工学、地震リスク、鉄筋コンクリート。土木学会論文賞、土木学会吉田賞他受賞。著書に『都市の地震防災』（フォーラムエイトパブリッシング）他多数。現在、インフラツーリズム推進会議議長を務めるほか、「魅せる土木」を提唱。'土木ウォッチング'、'Discover Doboku'を主宰。土木広報大賞2019（土木学会）準優秀部門賞（イベント部門）受賞。


Episode25

## クリーンエネルギーのエースLNGの秘密を探る

### —マイナス162℃の液化天然ガスを貯蔵する巨大魔法瓶—

**■LNGって何?元の英語は何?**
**LNGとは液化天然ガスLiquefied Natural Gasのこと。気体である天然ガスを-162℃以下に冷却し液体にしたもの。液化によりその体積を気体の約1/600に減少させることができ、輸送・貯蔵が極めて容易となる。**

液化天然ガスLNGは、環境特性に優れたクリーンエネルギー。大気汚染の原因となるSOx（硫黄酸化物）が発生せず、NOx（窒素酸化物）や$CO^2$（二酸化炭素）の排出量も少ない。その用途は、都市ガスまたは火力発電所の燃料として使われ、近年さらなる需要が見込まれるが、多くは海外からの輸入に頼らざるを得ない。今回のEpisode25では、大容量の液化天然ガスを貯槽するLNGタンクをテーマとして、その秘密を解き明かしたい。

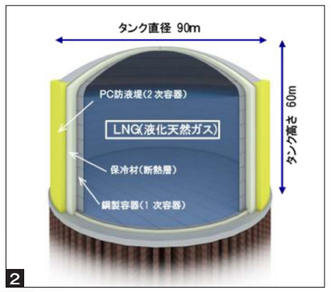
LNG タンクは、液化基地でのLNG製造と船出しまでの間、および LNG 受入基地における荷揚げ/再ガス化/出荷までの貯蔵、の2地点にて必要となる。LNG輸入大国日本では、後者の受入基地が多数建設/稼働していて、世界最大の消費国である。極低温液体の貯蔵運搬には高度なテクノロジーと経験値を必要とし、加えて、耐震性や火災安全性が重視される。LNG貯蔵施設はいくつかの形式があるが、ここでは、地上式タンクと地下式タンクを紹介する。

地上式LNGタンク(Ground LNG Tank)：大阪ガス泉北製造所第一工場に建設されたPCLNGタンク[Photo1]は、23万klの貯蔵容量を有し、地上式LNGタンクとしては世界最大規模（一般家庭の約33万戸分の年間使用量に相当する）。これは、外径約90m高さ約60mの円筒形構造（+ドーム式屋根）で、大阪城天守閣が土台の石垣ごと2つすっぽりと入るほどの大空間。このような地上式タンクの場合、液化ガスを貯槽する鋼製タンク（1次容器）、保冷材（断熱材）、および漏液防止のためのPC防液堤（2次容器）にて構成され、多数の基礎杭にて支持される[Photo2]。

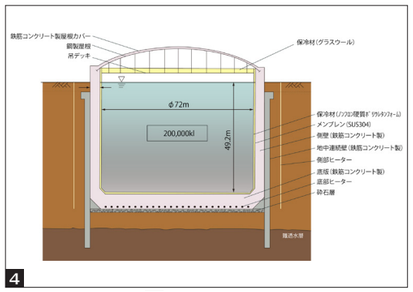
地下式LNGタンク（LNG Underground Tank）：東京ガスLNG袖ケ浦工場[Photo3]は、千葉県袖ケ浦市の臨海部に建設された世界最大級のLNG基地（東京電力との共同基地として、多数のタンクが計画的に配置されている）。1973年、国内初のLNG専用工場として稼働し、現在は、主としてブルネイ、オーストラリア、マレーシア、インドネシアより輸入され、都市ガスおよび発電用燃料ガスを製造・供給している。

地下式タンクの場合、周辺地盤の水圧と土圧を受ける鉄筋コンクリート製躯体を構築し、内面に断熱材と液密性を保持するステンレス製メンブレンを設置する[Photo4]。タンク底部と側部には、地盤凍結を制御するためヒーターが設置される。

1

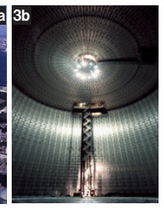



2




4

3a



3b

**1 地上式としては世界最大容量のPCLNGタンク【提供 大阪ガス】 2 地上式PCLNGタンクの構造【提供 大林組】 3a 世界最大級のLNG基地 袖ヶ浦工場【提供 東京ガス】 3b 地下式LNGタンクの内部構造（側壁のメンブレンが光って見える）【提供 東京ガス】 4 地下式LNGタンクの断面構造【提供 東京ガス】**

■大阪ガス 公式サイト　https://www.osakagas.co.jp/company/enterprise_future/article2/
■大林組 公式サイト　https://www.obayashi.co.jp/thinking/detail/project23.html
■東京ガス 公式サイト　https://www.tokyo-gas.co.jp/kids/genzai/g2_1.html
https://www.tokyo-gas.co.jp/Press/20191101-01.html




フォーラムエイトはfacebook、Twitter、Instagram等の各種SNSで最新の情報をお届けしています。
ここではFacebookで公開された吉川弘道執筆による連載『土木が好きになる27の物語』のエピソードを順次ご紹介していきます。

https://www.facebook.com/forum8JP　https://www.instagram.com/forum8jp/　https://twitter.com/FORUM8JP


Episode26

## 心躍る高速道路の立体交差：JCTとIC

### —大地に刻まれたクロソイド曲線を俯瞰する—

**■立体交差の施設用語を確認しよう**
**ジャンクションJunction:高速道路相互を直接接続するインターチェンジのこと。・インターチェンジInterchange:立体交差する道路相互間、または近接する道路相互間を連絡路によって立体的に接続する施設。・ランプRamp:ICやJCTなどの道路相互を繋ぐ高低差のある傾斜路。**

理系学生でも苦手な幾何学（Geometry）が、道路施設であるジャンクションJCTやインターチェンジICの道路線形の設計に役立っている。道路線形に用いられるクロソイド曲線（Clothoid Curve緩和曲線）をご存知だろうか。これは、快適かつ安全なハンドル操作のための道路線形として広く活用され、かつてドイツの高速道路Autobahnにて導入された言われている。直線⇒クロソイド曲線（緩和曲線）⇒単曲線を組合せた連続的な幾何学形状は、また優美なアートを醸し出す。

かつて華麗優美なジャンクションは近代都市の近未来図であったが、全国に高速道路網が行きわたった21世紀には日常の原風景ともなっている。[Photo1]～[Photo3]にて、国内でも良く知られている3つの道路施設を紹介したい。

[Photo1a], [Photo1b]東大阪ジャンクション（大阪府東大阪市）：阪神高速13号東大阪線と近畿自動車道の交差分岐。都市型JCTの中では類例の少ない対称形をなす。近隣に恰好の撮影スポットがあり、土木ファン達がJCTのダイナミズムを写し出してくれる。

[Photo2a], [Photo2b]横浜青葉ジャンクション（横浜市青葉区）：東西の大動脈東名高速に設置され、南北に1.5kmほど伸びる大規模なY型JCTを形成している。周辺の首都高横浜北西線、国道246号線、第3京浜への接続により、その利便性は格段に向上している。

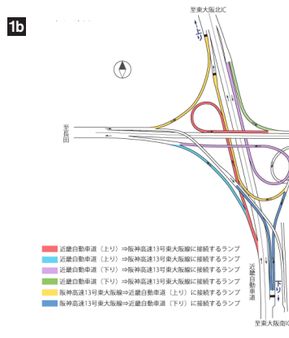
[Photo3] 首都高速道路 箱崎ジャンクション（東京都中央区）：首都高6号向島線と9号深川線の合流地点箱崎JCTは、仲間内ではよく知られた”ジャンクション萌え”スポット。下から見上げたその様は”ヤマタノオロチ”の異名をとる。夜の帳が降りる頃、辺りの喧騒は消え、首都高速道路の毛細血管が集約した構造美が際立つ。

これらの道路施設は、20世紀後半に竣工/供用されていることを付記したい。国土交通省、高速道路会社、道路公社 etc.の主導による道路技術の開花が、更なるモータリゼーション（これも古くなってしまったか）を加速している。地理的条件や用地取得の制約を受け、教科書通りの理想的な幾何形状を描けないことも日本特有の事情だ。（大仰な言い様ではあるが）天が与えし試練を先進の道路エンジニアリングが克服したとしか言い様がない。

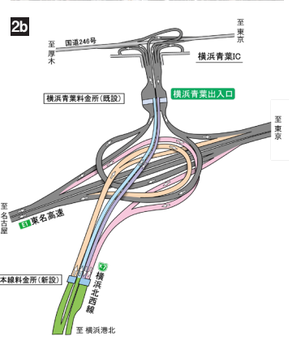
1a

2a

**1a 東大阪JCT 全体写真　1b 東大阪JCT 路線図【出典：https://www.w-nexco.co.jp/search/jct_map/kansai/pdfs/higashi_osaka.pdf】 2a 横浜青葉JCT 航空写真　2b 横浜青葉JCT路線図【提供：首都高速道路㈱】**




1b




2b

【参照 / 出典サイト】
■国土交通省　https://www.mlit.go.jp/road/soudan/soudan_01b_05.html
■NEXCO西日本 東大阪JCT　https://www.w-nexco.co.jp/search/jct_map/kansai/pdfs/higashi_osaka.pdf
■首都高速道路：首都高北西線の概要 横浜青葉JCT・横浜青葉出入口
https://www.shutoko.jp/ss/hokusei-sen/guide/

**3 首都高速道路 箱崎JCT（東京都中央区）【撮影：林直樹氏】**

Episode27

## 土木工学の老舗：河川構造物大集合

### ― 河川に寄り添い100年供用される一品生産 ―

■『善く国を治むる者は、必ずまず水を治む』
中国の故事に遡る国家の大計は、河川工学や水工学の原点でもある。近代において、なお深刻な風水害や土砂災害が繰り返されるが、最先端のエンジニアリングが一治一乱の歴史に終止符を打つことを期待したい。

最終回Episode27では、土木工学の老舗ともいうべき、水工学（Hydraulic Engineering）と河川構造物（River Structures）に焦点を当てた。

[Photo1]模式図による河川構造物の説明：最初に、河川工学に関する基本用語について復習しよう。本川、支川、派川、遊水地、調整池などが基本用語。右岸（下流に向かって右側）と左岸についても確認されたい。構造物では、先ず堤防や護岸、水制工が基本であり、築造構造物としては樋門（ひもん）、樋管（ひかん）、水門、閘門（こうもん）、排水機場などが挙げられる。加えて、霞堤、輪中堤、越流堤もよく知られているが、その意義と工法は、江戸時代（あるいはそれより以前）に遡り、いわゆる河川工学の起源とも言える。

そして、紹介する河川施設の実構造物だが、迷いに迷って3件を採り上げたが、なんと いってもそのフォルムが頼もしくそして美しい。

[Photo2]百間川河口水門（中国地方整備局 岡山河川事務所）：流域内の治水安全性向上のため河口東側（左岸側）に増設された平成水門。耐震性/経済性/景観性を考慮して、ライジングセクターゲート（純径間33.4m×有効高6.9m）を採用。

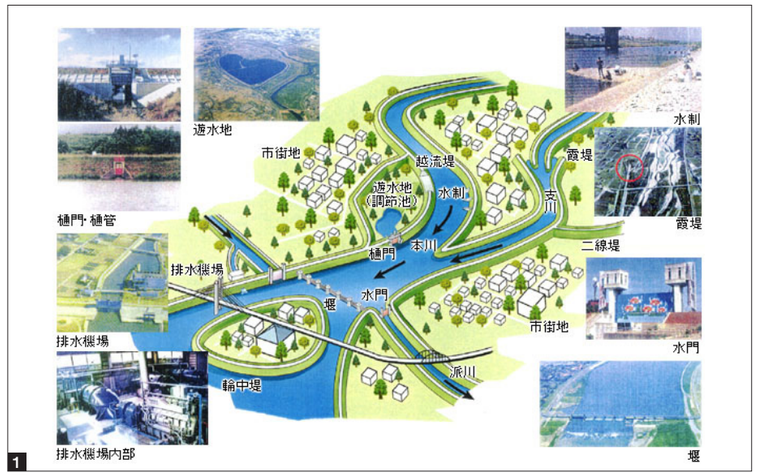
[Photo3]荒川放水路 新旧岩淵水門（東京都北区）：旧水門（赤水門）は、隅田川の氾濫を防止するため、大正13年（1924年）荒川放水路と隅田川の分派点に建設された。その役目は、昭和57年（1982年）岩淵水門（青水門）に引き継がれた。新旧合わせて100年間、東京東部低地の洪水を制御している。

[Photo4]栢山頭首工（神奈川県開成町）：頭首工とは、河川から農業用水を取水する施設。ここでは、第一洪水吐、第二洪水吐、土砂吐、魚道、右岸取水口、左岸取水口にて構成される。洪水吐は鋼製油圧転倒ゲートで7門、土砂吐は鋼製油圧ローラーゲートで1門、魚道は階段式魚道、左右の取水口は鋼製スライドゲートとなっている。

それぞれの河川施設は、地形的地質的条件、気象気候条件、仕様(スペック)、経済性により、様々な形態をとる。竣工すれば、河川に寄り添い100年供用される一品生産でもある。

これらの河川施設の多くは、また、農業土木工学（Agricultural Engineering、または、Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering）の施設であることも付記したい。最近知ったが、国際機関ICID（国際かんがい排水委員会1950年創設）が、100年以上前に築造された施設を対象として“世界かんがい施設遺産”を認定している。現在15ヵ国107施設が登録されているが、そのうち日本国内のものが40%を占めている（”かんがい大国ニッポン” 読売新聞2021年3月16日朝刊）。我が国は、古（いにしえ）より今日この日まで、治山治水に利する施設の開発に腐心した証である。

改めて、『善く国を治むる者は、必ずまず水を治む』。




1 模式図による河川構造物の説明【出典：国土交通省 水管理・国土保全】
https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/kasen/jiten/yougo/05_06.htm

2 百間川河口水門（平成水門）（中国地方整備局 岡山河川事務所）【提供：山陽新聞社2013年12月4日掲載記事】

3 荒川放水路 新旧岩淵水門（東京都北区）【提供：関東地方整備局 荒川下流河川事務所】https://www.ktr.mlit.go.jp/arage/arage_index003.html

4 栢山頭首工（神奈川県開成町）【出典：神奈川県 県西地域にある農業土木施設の紹介】https://www.pref.kanagawa.jp/docs/m2g/cnt/f417344/p18284.html

**吉川 弘道 関連サイト**

Discover Doboku 日本の土木再発見　https://www.facebook.com/DiscoverDoboku
土木ウォッチング ―インフラ大図鑑―　https://www.doboku-watching.com/



Epilogue

## 社会インフラの意義と醍醐味を饒舌に語る土木ポスター

### ― 1枚のポスターが描く土木のショートストーリー ―

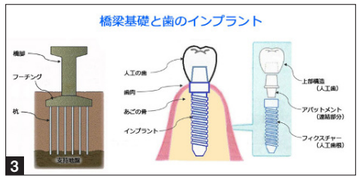
■ “土木ポスター”を提唱します
土木の魅力と意義が凝縮された、たった1枚のポスターが、寡黙な土木施設(Infrastructure)を饒舌に語ることがある。秀逸な土木ポスターは、新たな発見と感動を生む。連載"土木が好きになる27の物語"の最終回Episode余話を期に土木ポスターを提唱したい。

Webサイト土木ウォッチングに投稿公開されたポスターコーナーのうち6つの事例をEpisode余話としてお届けしたい。紹介する土木ポスターは、その目的、対象、手法などが全く異なり、制作者がいわゆる土木屋ではないことも、新鮮な気付きに繋がる。対象とする土木たち（≒社会インフラ）は、その構造と役割が単純ではなく長い長い物語になるが、伝えたい一断面、輝く一断面を切り取るものである。

[Photo1]インフォグラフィックス：“さがみ縦貫道路”
インフォグラフィックスInfographicsとは、情報や概念を画像で表すもの。神奈川県を縦断するさがみ縦貫道路を題材とし、県内主要道路としてのインフラストック効果をグラフィックで伝えるものである。

[Photo2]ダムは生きている：ロックフィルダムの堤体挙動観測
ダムには膨大な水圧が作用し、環境条件も刻々変化し、時に強震動を受けることがある。このため安全性確認を目的とする常時堤体観測がなされている。この例では、ロックフィルダムを対象とした堤体管理計測と地震時挙動観測をコンパクトに表している。

[Photo3]土木の不思議：よく似ている橋脚と歯科インプラント
橋梁に多用される単柱式橋脚（画像左）と人工歯根歯科インプラント（画像右）を併記比較している。両者は全くの別物で構造寸法も異なるが、驚くことにそのメカニズムは酷似する。ともに頂部に過大な荷重が作用する耐荷構造であることが共通する所以であり、数十年のミッションを託されている。




3

[Photo4]“デザイナーズ土木”の提案：首都高速道路五色桜大橋
荒川べりに桜が咲くと、ダブルデッキ式ニールセンローゼ橋は、凛とした造形美を放つ。新参者の最先端橋梁が現地に受け入れられた瞬間である。五色桜大橋は高架橋としての100年間のミッションが託され、やがて原風景として溶け込む。

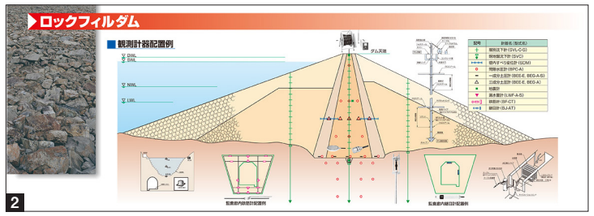
4

[Photo5]人類のために潰えたもの達：RC供試体へのオマージュ
破壊モードは曲げ破壊とせん断破壊に大別でき、耐力や変形などの実験結果は耐震設計に生かされる。学生達は実験を体験して多くを学び、そして耐え忍ぶ崩壊過程に感動すら覚える。このポスターは、“人類のために潰えた（ついえた）もの達へのオマージュ”でもある。

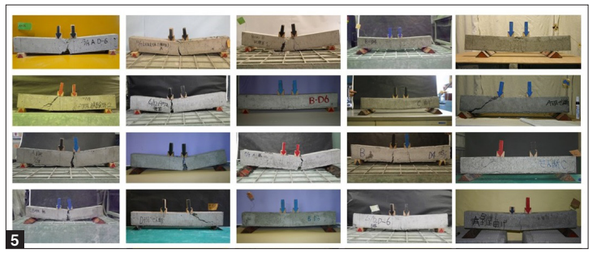
[Photo6]図書館企画展『DISCOVER DOBOKU』の会告ポスター
第7回 企画展のテーマは、”画像で巡る鉄道・道路・ダム・橋梁・空港”。中央に据えた明石海峡大橋の桁下から仰ぐ世界一の中央支間に平伏す思い。白抜きの企画展タイトルとともに、図書館企画展の開催趣旨を単的に伝えるものある。

6

1 インフォグラフィック：さがみ縦貫道路のインフラストック効果を探る【制作：東京都市大学環境情報学部社会メディア学科小池研究室】 2 ダムは生きている：ロックフィルダムの堤体挙動観測【提供：共和電業】 3 土木の不思議：よく似ている橋脚と歯科インプラントのメカニズム【インプラント画像：若林歯科医院】 4 デザイナーズ土木：首都高速道路 五色桜大橋【Copyright©2014 Wordleaf Corporation】【写真：林直樹氏】 5 人類のために潰えたもの達：破壊した供試体へのオマージュ【制作：東京都市大学都市工学科コンクリート研究室】 6 第７回 東京都市大学図書館企画展「DISCOVER DOBOKU」【デザイン：アドカルチャー・ワークス】




2



5