

〇〇〇さま レクチャー

現代橋梁のテクニックと応用アイデア



Archstructure.net
～ 現代建築と、その、構造デザイン～



d o s
design-oriented structure
structural consultant

(株)dos 山田誠一郎
yamada@d-os.jp

本PDF/パワポは下記URLからのリンク先としてアップロードされたものです

This PDF/powerpoint data is uploaded as link file of following URL

<http://www.archstructure.net/asmt/topics/2015/02/lecture.html>



<http://www.archstructure.net/> 左記サイトの
home > topics > 「特別企画 パワポレクチャー!？」

§ 3.現代橋梁のテクニックと応用アイデア

(転 用)

Archstructure.net

読者様へ

講演時のトークを書き出し、分かり易くします。

講演の際は1, 2章がありましたが割愛しています

また以下で下記のような略称を用いています

M:モーメント

T: 引張力 (tension)

C:圧縮力 (compression)

読んでいただければ理解できるであろうページはコメントを略しています

- 以下に最近の橋梁の構造テクニックを
図解で紹介。



- それを建築に応用した場合の構造案(アイデア)も
(転 用)

注: 以下の写真は全てインターネットより引用

§ 3.現代橋梁のテクニックと応用アイデア

§ 3.1 Ring Girder

リングガーダー

§ 3.2 Vertical Arch/Half Arch

縦アーチ/ハーフアーチ

§ 3.3 Case Study

ケーススタディー

§ 3.4 その他topics

3.1 Ring girder リング ガーダー

リングガーダーとは。。?



床が**リング状にカーブしている**ことにより、
まっすぐの梁とは異なる、
アーチ状の構造的性状を持つ梁。



Archstructure.net

まず3.1リングガーダーです

リングガーダーとはなんでしょう。

リングガーダーとは床がリング状にカーブしていることにより、まっすぐの梁とは異なる、アーチ状の構造的性状を持つ梁のことです。

今やカーブ床は片面吊りが当たり前!?

えっホント!?



そうなの?

Archstructure.net

今やカーブ床は片面吊りが当たり前!?!というお話です

今やカーブ床は片面吊りが当たり前!?



いずれもドイツ内の歩道橋



ドイツ博物館 展示橋



全てシュライヒ・バーガーマン&パートナー(以下SBP 次頁)の歩道橋
いずれもカーブ床を片面吊りしている

Archstructure.net

これらはいずれもヨルグシュライヒ氏の事務所による歩道橋です
いずれもカーブ床を片面吊りしています

今やカーブ床は片面吊りが当たり前!?

ちょっと寄り道。。シュライヒ・バーガーマン&パートナーとは。。

- ✓ ヨルグ・シュライヒ (80歳) 氏設立のドイツの構造事務所。
構造では世界のトップ3レベルの会社。
- ✓ サッカースタジアムの屋根(リング構造)が得意。
FIFA WORLD CUPのたびに
毎回、約10会場の半分以上は
シュライヒ事務所の設計!
- ✓ 構造設計界のスーパースター



フランクフルト・スタジアム
2006ドイツ 



モーゼマヒダスタジアム
2010南アフリカ 



マナカランスタジアム
2014ブラジル 

今やカーブ床は片面吊りが当たり前!?



オランダの歩道橋(Laurant Ney / ローラン・ネイ)

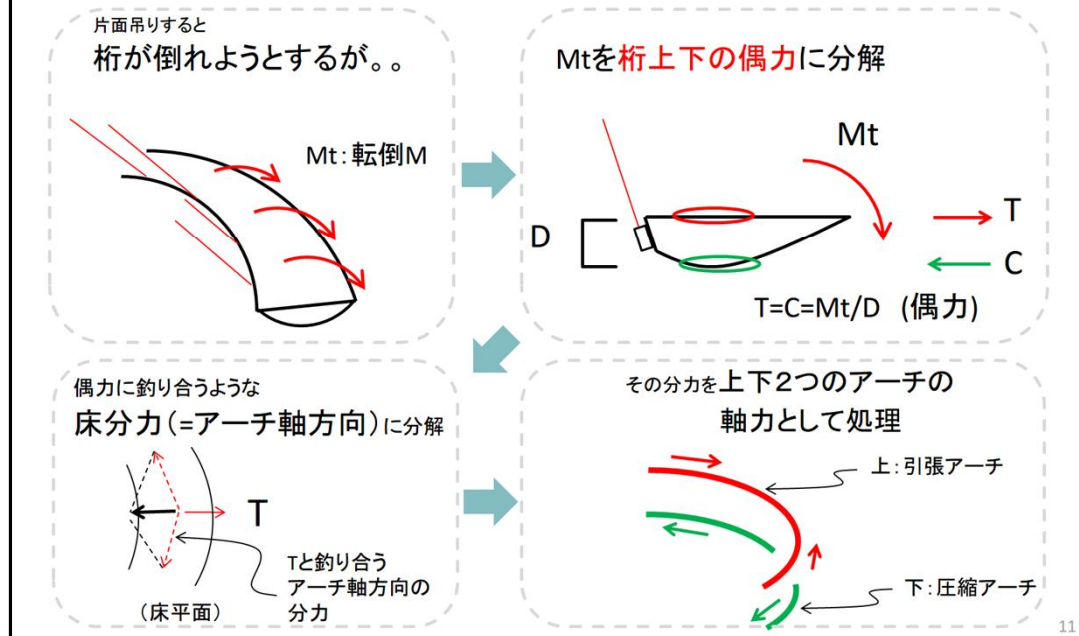


CAPILANO 自然公園(バンクーバー)

左は近年、注目を浴びているオランダの構造設計家、ローランネイ氏の歩道橋。
S字のカーブを描いています。支柱(タワー)にバックステイが不要であるのが特徴です
右はカナダにある、自然公園内の物見台的な歩道橋です

話は戻って。。

片面吊りでOK！リングガードのしくみ



11

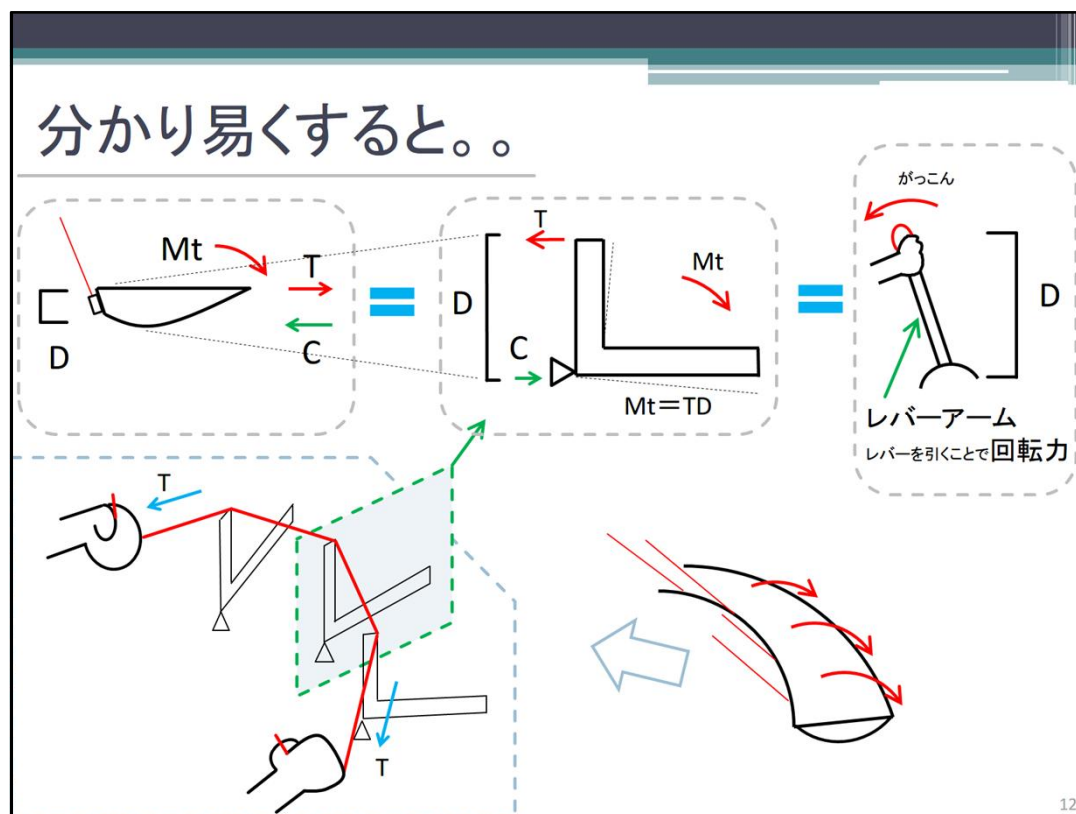
片面吊りの仕組みを説明します

(左上) 片面吊りで桁が倒れようとするこの力を。。

(右上) まず桁の成(D)を利用して、桁上下の力: 偶力に分解します

(左下) 次にその力を、それ(偶力: 上図T)に釣り合うような床=アーチ軸方向の分力に分解します

(右下) これにより、桁の上下を、上は引張力が働くアーチ、下は圧縮力が働くアーチとして作用させ、力を負担(処理)させます



わかりやすく、桁の成を大きくして考えると(上中図)床にタテのレバーがついていて、それを内側に引っ張っているようなものです。
 レバーを引いて回転力を生み出しているのです
 そのレバーを引張る力は、下図のように、レバーの先端にぐるっと糸を張っていて両端で引っ張っているようなものです

リングガードとは **リング構造の一部を切り取ったもの**



シュツツガルト ベンツスタジアム (SBP) (旧ダイムラススタジアム)

リング構造

軸力は
正にリングにより
完結している



リングガードー

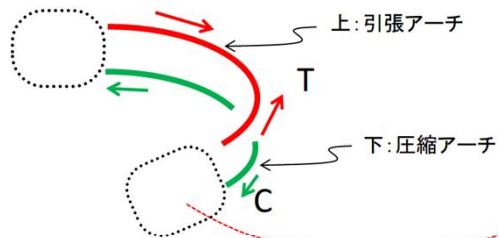
(リングを切り取っているので)
端部に軸力を処理する
反力機構が必要。

Archstructure.net

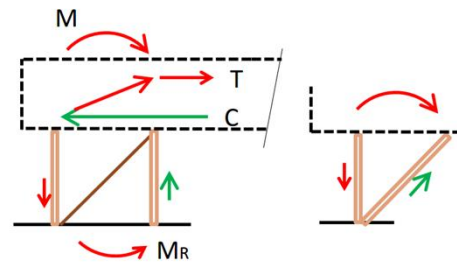
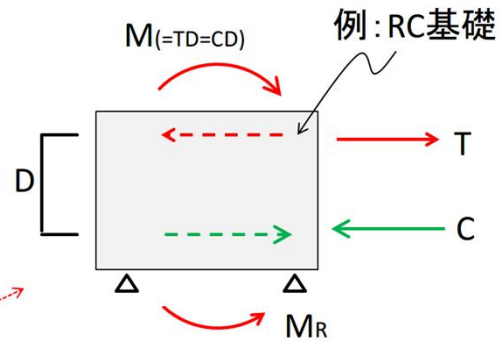
分かりやすく言うとリングガードーは車輪構造:リング構造の一部を切り取ったようなものです。

ただし、リング構造では力はリングによりまさに完結していますがリングガードーはそれを切り取っていますから、端部に力を処理するもの＝反力機構が必要です

基礎

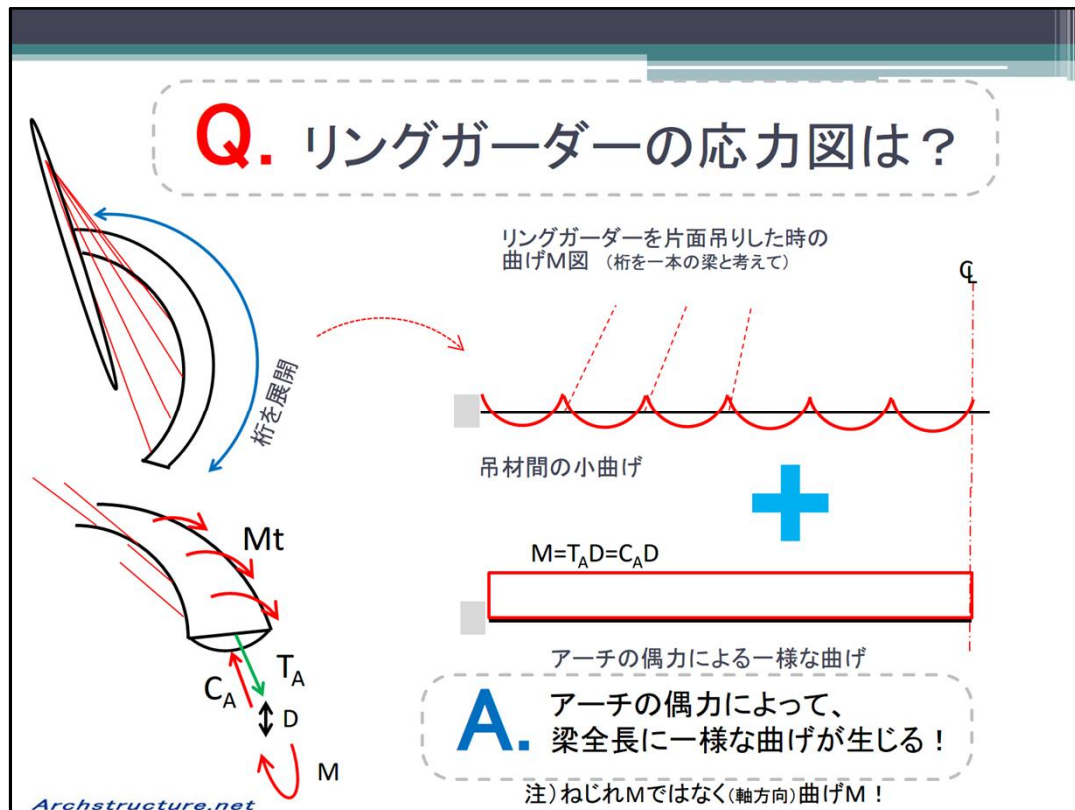


- アーチがD離れていることにより
基礎にはMが。
⇒これに抵抗できる必要がある(M_R)
- 軸力(水平反力) CとTは
キャンセルさせればよい



このような鉄骨骨組(鉄骨柱)でも可。

前述のとおり反力機構としての基礎が必要です
力は右上図のように入ってきます。
TとCが距離D離れて作用しますからこれはモーメント $M=TD=CD$ が働いているようなものです。
よって基礎はこれに対処する必要があります。 M_R =抵抗モーメント
TとCは逆向きですからキャンセルさせれば事足ります
右下に示すような鉄骨骨組でもOKです



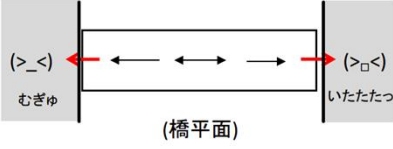
リングガーダーの応力図を示します。桁を1本の梁と考え、展開します
まず吊材間の小曲げ。
そして(左下)前述の偶力TとCが桁に作用していますが、これはつまり曲げモーメント
が作用しているということです。
それが桁の何処をとっても同じだけ＝一様に働いているということになります(右下)
このとき、桁に働いているのはねじれモーメントではなく、軸方向のモーメントであること
が特徴です

おやつは
オマケ付
グリンコ

NO EXP.J ! リングガーダーにはおまけが。。

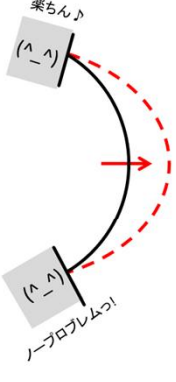
桁が熱膨張で伸びると。。





まっすぐの桁

両端の基礎を押し付けてしまう
⇒エキスパンションジョイントが必要
(そのメンテにもお金が)



リングガーダー

単に風船のようにヨコに広がるだけ
⇒EXP.Jは不要！(メンテコストも！)
⇒ Cost Cutting!



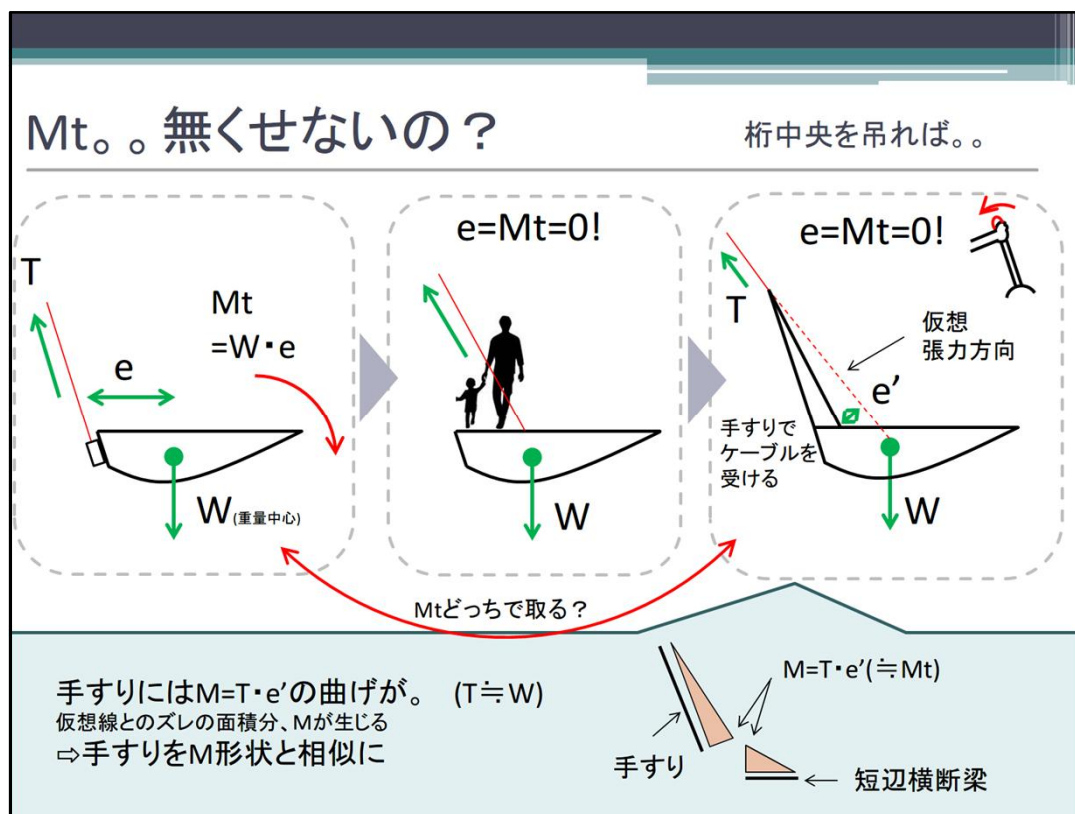

Archstructure.net

リングガーダーにはオマケがあります

桁が熱膨張で伸びた場合。。

通常のまっすぐの桁では両端の基礎を押し付けてしまうため、EXP.Jが必要です
しかしリングガーダーでは、熱膨張してもただ単に風船のように横に膨らむだけです
よってEXP. Jは要らず、またメンテコストもいりませんのでコストカッティングと言えます

(注：講演時は自分の膨らんだお腹を撫でて笑いを誘うこと)



(左)リングガーダーでは、重量中心:Wと吊り位置Tにズレがあるためそれが転倒力Mtとなっています

(中)ではもし桁中央を吊れば。。 $e=MT=0$ となりますがこれでは歩道橋として用をなしません

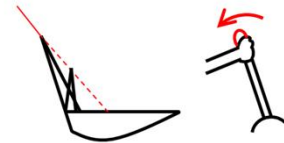
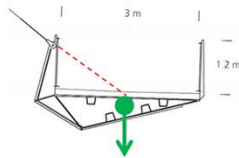
(右)そこで。。桁から手すりを立て、そのTOPでケーブルを受けます。このとき、ケーブル延長が重心に合うようにしておきます。

これですと重心を吊ってますからMTはありません

手すりは仮想張力方向とのズレ e' 分(ズレ面積分)、曲げを受けることになります。しかし手すりをそれと相似な形(三角形)にしておけば事足ります

桁のMTはなくなりましたが今度は手すりにMが生じました。つまりは両者のどちらでMTを取るのか(桁で取るか手すりで取るか)ということなのです

サスニッツ
実例 Sassnitzの歩道橋 (独) SBP



手すりがレバーアームに



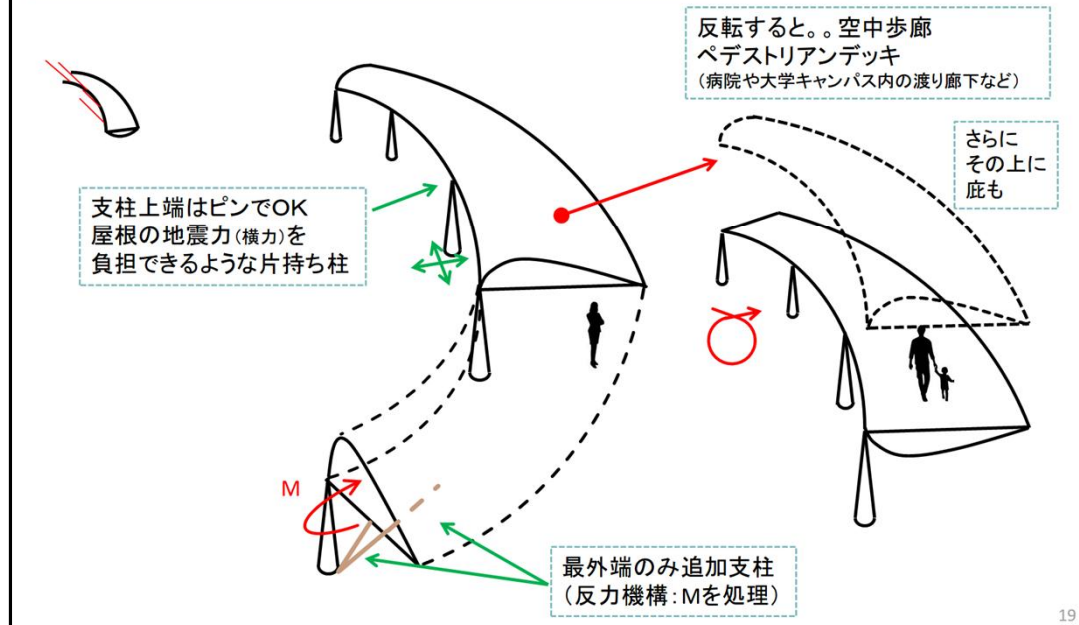
Archstructure.net

こちらは前ページの実例です
手すりの延長線が重心位置に来るようになってます

聞くとところによると、本橋では桁が長く、その長さ分リングガーダーにて力を流すのがタイヘンだったので手すりにより(次々に)MTを取る計画とした、とのこと

リングガーダーの 建築への応用アイデア

庇の案(バス停屋根)



以下ではこのリングガーダーを、建築に転用した場合のアイデアを述べます

こちらは私のオリジナルアイデアです。バス停の屋根の想定です

庇の片面のみを支柱で支えます

支柱はTOPはピン支持でOKです。固定支持の必要がありません。

(左端の)橋のようにケーブルで吊っていれば固定も何もあつたもんじゃありませんからね。

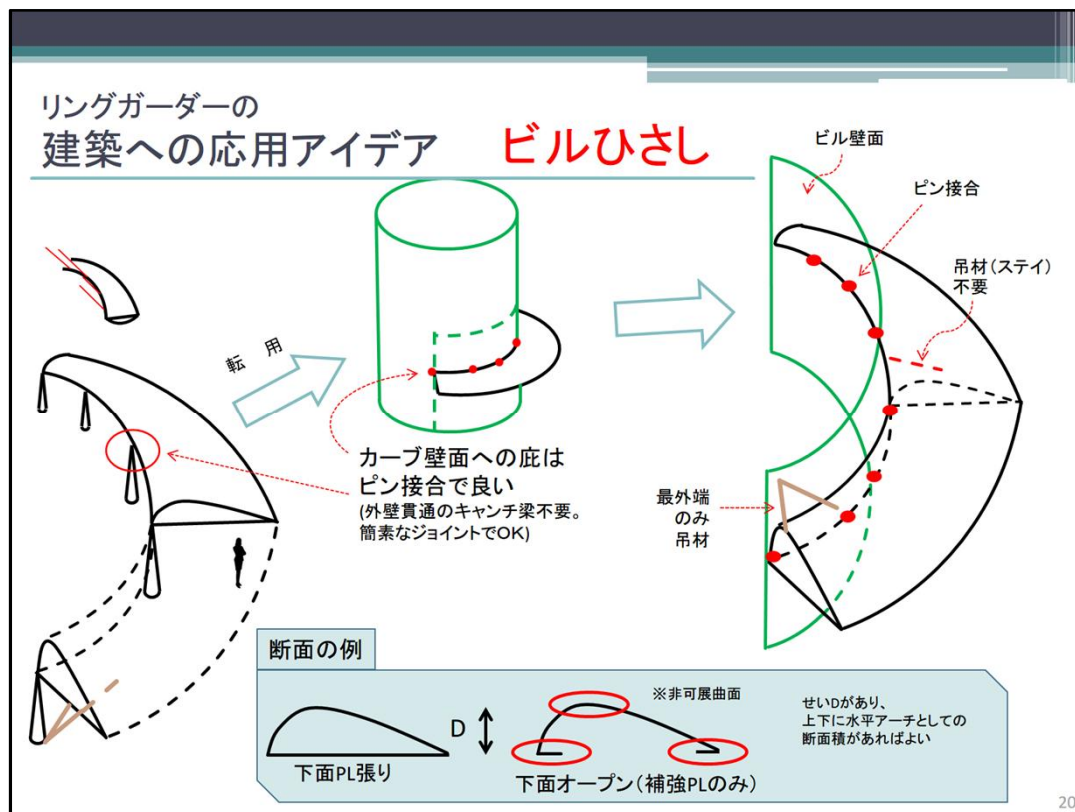
なお支柱は屋根の地震力を負担できるような先細りの片持ち柱とすればよいでしょう

庇の最外端のみは支柱を追加します。前述の反力機構としての役目です

この庇をひっくり返すとペDESTリアンデッキとなります

更にその上に、柱を伸ばした上で(左図の)庇を設けてもいいでしょう

もちろんその庇は柱へはピンでokです



前ページの庇を転用して考えると、カーブした壁面のビルに設ける庇は本体へはピン接合でよい、となります(中図)
 外壁貫通のキャンチ梁は不要で簡素な(ピン)ジョイントでOKです
 (右図)ビル壁へ適当な間隔でピン接合します。吊材:スチは不要です。
 (リングガーダーにより)倒れる力を自分で取れるのです
 なお最外端のみは反力機構としての吊材を設けます

庇の断面形としては(左)閉じた断面や、(右)下はオープンなものともできます
 上下に水平アーチとしての断面積があればいいのです。

なおこの形態は非可展曲面(=展開できない曲面)です。曲がっているため一枚の紙(平面)に伸ばすことが出来ません
 よって形を保持するためのダイヤフラム(補強板、ふさぎ板)はおそらく不要でしょう

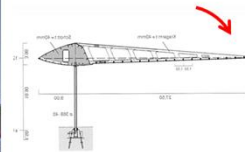
ハンブルグのバス停屋根/SBP



ガラス屋根(二次部材)のMを
リングガーダー(主架構)で取る

構造体(リングガーダー)

ガラス屋根



自分のMを
自分で取る

こちらはシュライヒ事務所の事例です

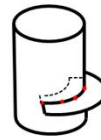
ガラス屋根によるモーメントを主架構である背面のリングガーダーが処理する、という計画です

先ほどの私のバス停案は、自分の転倒Mを自分で取る、という計画ですのでその点が違います

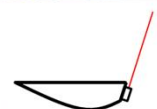
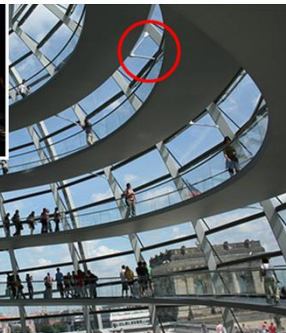
らせんスロープ

いずれもN.フォスター / Arup

ベルリン
独連邦会議場
ライヒスターク



ロンドン市役所



Archstructure.net

こちらはドーム内に設けられたらせんスロープです

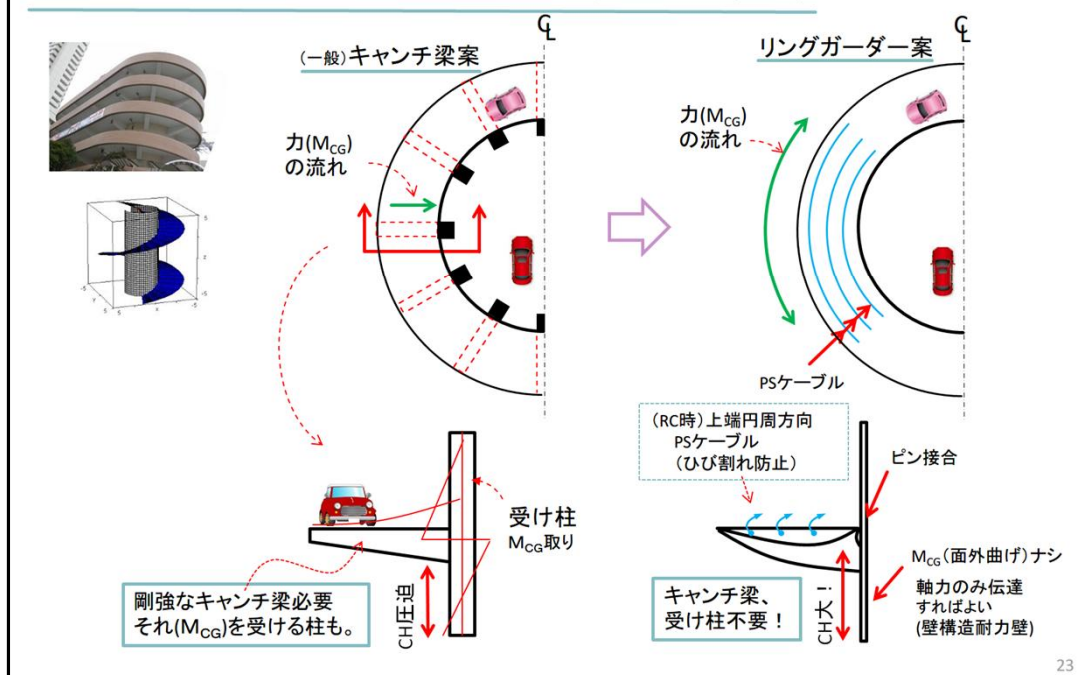
(中上図)先ほどカーブ壁への庇はピン接合でよいと言いましたがこのスロープはその庇を壁の反対側へ移したものとと言えます。

らせんスロープはリングガーダーとして働きます

ライヒスタークではドームのリブからでた腕でスロープをピン接合、
ロンドン市役所では斜張橋の如くケーブルで片面吊りしているだけです。

なおライヒスタークのらせんスロープは、ドームのタテリブの座屈補強材としても 働くとのことです。

らせん状自走式駐車場車路 Spiral Rampway



らせん状駐車場のスロープの案です

(左)通常はカンチ梁を出して受けるのが普通です

しかしこの場合、剛強なカンチ梁が必要で、更にそれを受ける柱も必要です

梁のためCH=天井高が圧迫され、最悪そのために階高を上げざるを得ないかも知れません

(右)リングガーダー案ですと、床はピン接合で取り付ければ事足ります

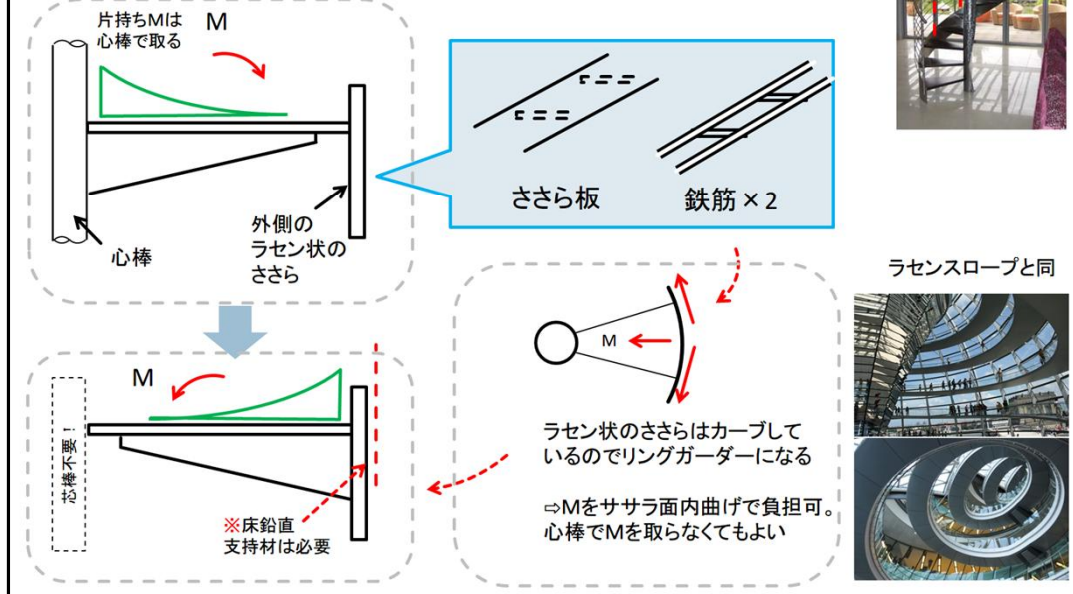
よってカンチ梁のみならず受け柱も不要で、スッキリとなります(左右の平面図をお比べください)

柱の代わりに(軸力だけ伝えればよいのですから)壁構造の耐力壁などとすれば事足ります

床はRC, Sいずれでもよいですが、もしRCなら、上面に引張り負担及びひび割れ防止としてプレストレスケーブルを並べればいいでしょう

力(M_{CG})の流れは左右の図のように異なる方向へ流れています

ラセン階段。。実は心棒不要!?



(左上)らせん階段は通常は心棒があって、踏み板の片持ちMをそれを取る、という仕組みです

この外側にらせん状のささらをつけます(右上写真のような)

ささらとしてはこのような例があります(右上図)

そうするとこのささらはカーブしているのでリングガーダーになります

(左下)ささらでMを取れば心棒はいらないのです。

ただしこの場合、鉛直力支持材、例えば吊材などは必要です

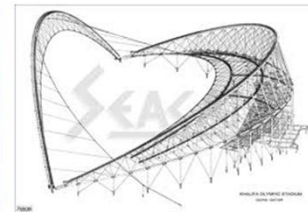
(右下)この階段は先ほどのらせんスロープを、直径をギュッと2m程度に小さくしたものだ、と言えます

Khalifa Stadium / Arup

ハリファ

スタジアム

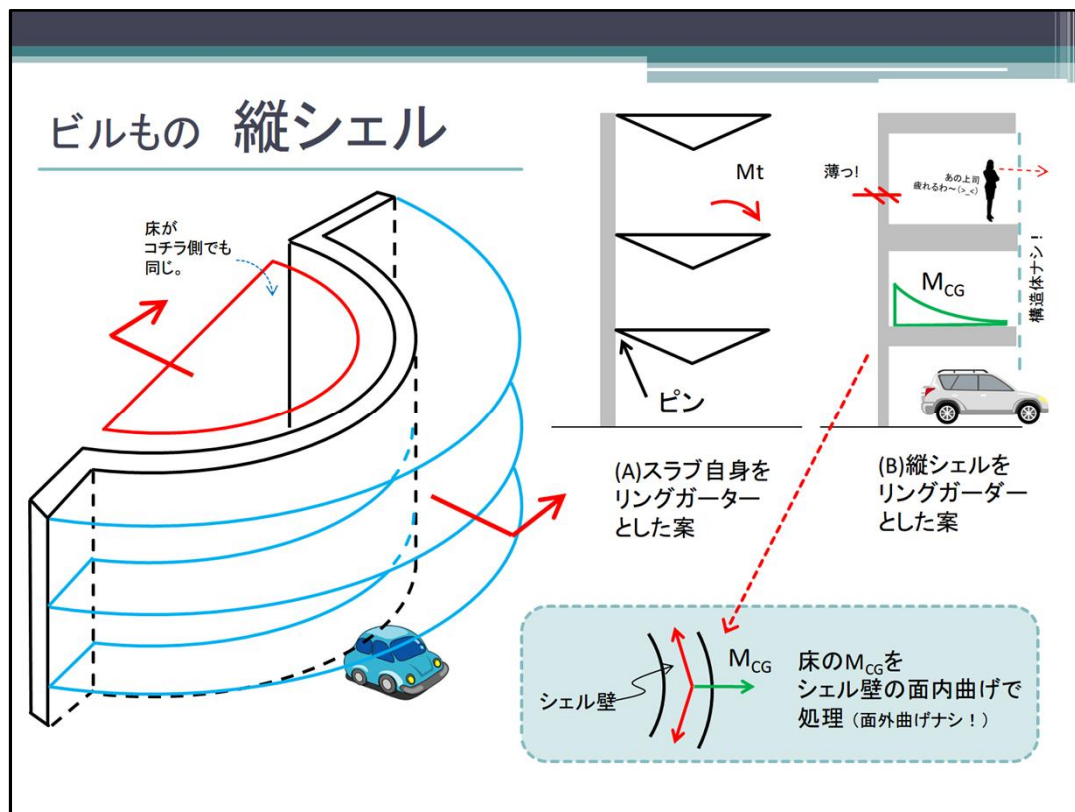
ドーハ



リング屋根スタジアムの一種だが屋根がリング状に閉じてない。
→リングガーダーの仕組み。バックステイ不要

Archstructure.net

こちらはドーハにあるスタジアムです
リング屋根スタジアムの一種ですが屋根がリング状に閉じていません。
これはリングガーダーの仕組みで、バックステイ不要です



このようなビルがあったとします(青線の床)

(A)この場合、床はリングガーダーになるので自分で倒れ:Mを取れます。よって壁へはピン支持でOKです

(B)もう一つは壁をタテシエルとした案です

床の片持ちM(M_{CG})に対し、シエルが曲がってますのでシエル面内の力(分力)で対処可能です(下図)

壁の面外曲げは起きません

よって、床スラブの厚さ(面外曲げ)に対し、壁は薄く(面内曲げ)することが出来ます

A, Bいずれにせよ、外側には構造体がありませんので眺めが良かったり、駐車場とすることができます。

また床は壁の反対側(赤線)でもOKです(同じことが成立)



がズレますがおまけです。

余部鉄橋は兵庫の日本海側にある鉄道橋です

現在はRC橋になっています(右上)

かつて強風により線路から列車が転げ落ちるとい痛ましい事故がありました

このような橋で、まっすぐの桁では耐風処置として地面から強固な片持ち柱を建てねばなりません

これを私の案ですと。。

(左下) 桁の平面をアーチにすれば、風圧力はアーチの軸力になり効率的に処理できます

アーチ端ですが、列車は急に曲がれない(黒点線のように)のでレールは滑らかなカーブ(赤実線のように)にします

レールがアーチからはみだしている当たりは補助部材を立てればよいでしょう

(右下 断面図) 支柱は上下端ピン支持で事足ります。偏荷重はこれまで述べたリングガーダーで処理できます

またこの支柱は(水平)アーチの面外(=上下方向)座屈留めにもなっています

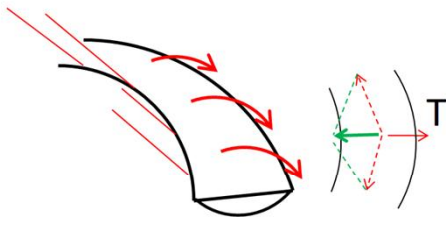
アーチで風荷重のみならず地震力も負担できます

レールがアーチ状に曲がってますから海へ向けての景色も刻々と変わり楽しい旅行となるでしょう♪

最後に。

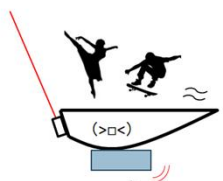
リングガーダーの注意点

caution!



力を(その方向でなく)分力で取る
→ 力が大きくなる。効率が落ちる

caution! たわみ、振動が大きくなる可能性が!



TMD必要!?

- カーブがキツイ(曲率が大きい)方がいい
- チューンドマスダンパー
最悪TMD必要!?
- 歩道橋、屋根程度に留める(?)

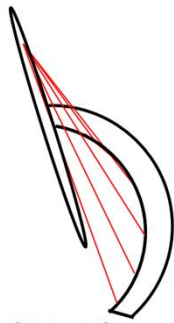
Archstructure.net

リングガーダーは力を分力に分解して処理しますから効率が落ちると言えます
(右下)のようにするのがよいかもしれません

まとめ リングガーダーとは。。

床が**リング状にカーブしている**ことで、
まっすぐの梁とは異なる、
アーチ状の構造的性状を持つ梁

上記により、**通常とは異なるデザインも**



Archstructure.net



§ 3.1 リングガーダー-END 

3.2 Vertical Arch / Half Arch

パーティカル・アーチ
(縦)

ハーフ・アーチ

まずこれを見てください

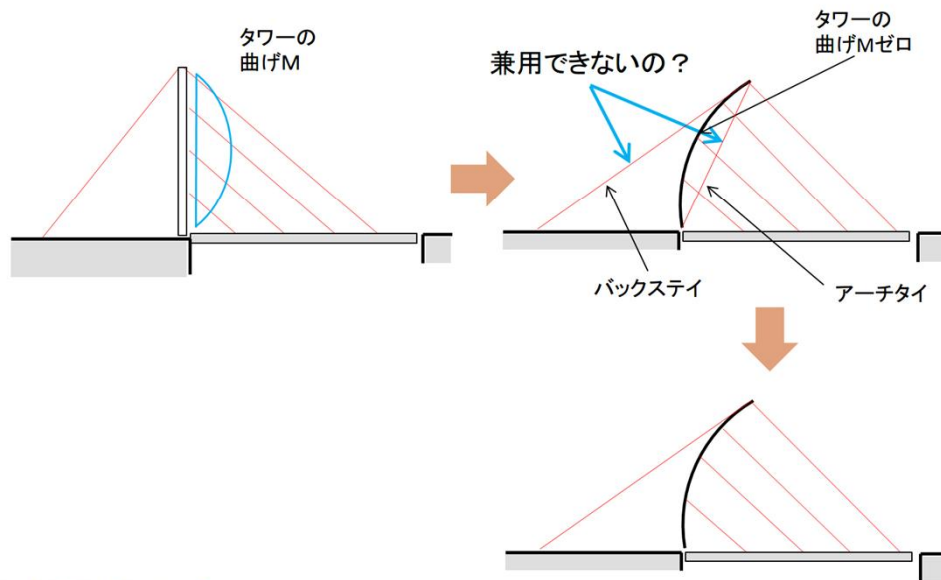


S.カラトラバ アテネ katehaki (カテハキ)橋

31

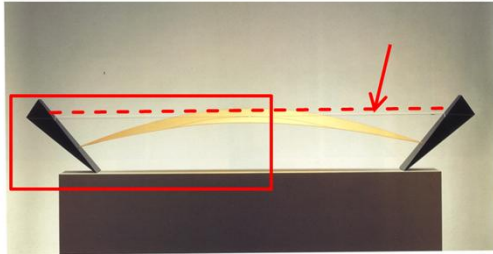
これをみて気づくのは。。まずはタワーが曲がっていることです
次にバックステイが鉛直であることです。ナナメでなくてよいのでしょうか

バックステイ橋 → タワーをアーチへ

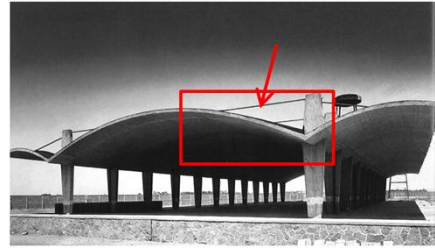


(左上)もしこのようなバックステイ橋があったとします
この場合タワーの曲げMがこのようになり非効率です
(右上)これをタワーをタイドアーチにすれば、曲げはなくなります
しかしアーチタイとバックステイ、2本あります。これは兼用できないのでしょうか
それがこちらです(右下)

アーチタイを背中に



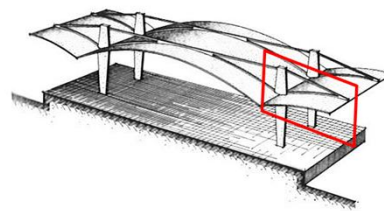
カトラバの彫刻「Bridge」



フェリックス・キャンデラ メキシコの倉庫1954

アーチタイを背中(上)に持ってきて、
半分に切る→Half Arch ハーフアーチ

→タテに起こすVertical Archヴァーティカルアーチ
(鉛直)



33

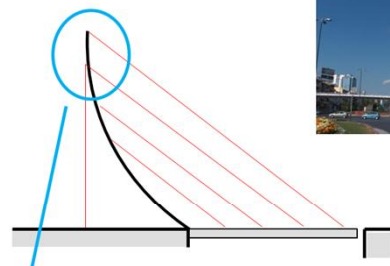
(右上:カトラバはかつて大学でキャンデラの指導を受けたとのこと)

(左、右)両者に共通なのはアーチタイが背中にあるということです

アーチタイを背面にもってきて半分に切るとハーフアーチ。
(右下図)キャンデラ倉庫のこの先端の部分(赤四角)と言えます

このアーチをタテに起こすとVERTICAL/バーティカル ARCHと言うわけです
なおこのハーフアーチ、バーティカルアーチは私が便宜上決めたものでググっても出で
きません

Q. バックステイはなぜ鉛直!?

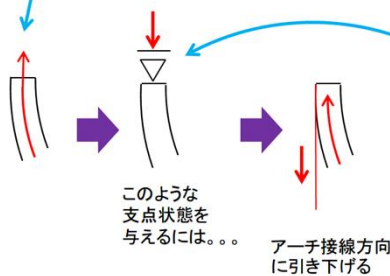


「アーチ構造」の時、アーチには軸力のみが働き、その力の向きは**アーチ軸方向=アーチ接線方向**

アーチ構造とするにはスラストを止めねば。
⇒その方向=**アーチ接線方向**に引き下げる必要がある

アーチは直線になろうと伸びるので、それを打ち消す分、**予めプレストレスで引き下げる必要がある。**
(仮定の鉛直支点を与えた状態に。)

タワーはアーチとして働き、
曲げMはゼロとなる。



A. アーチ接線方向に引き下げるから

Archstructure.net

まずタワーがアーチ構造であると仮定します

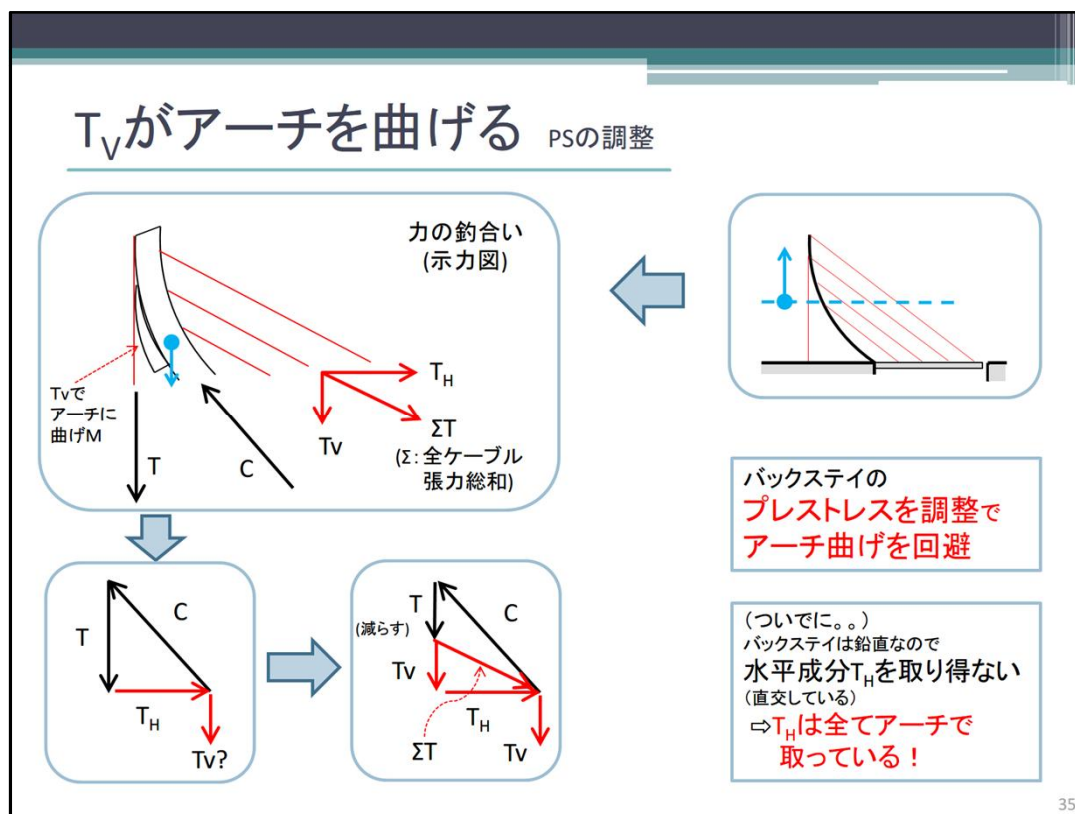
その場合、アーチには軸力のみが働き、その力の向きはアーチ軸方向=アーチ接線方向を向いています

アーチ構造とするにはスラストを止めて上端に支点があるようにせねばなりません。
よってその方向=アーチ接線方向に引き下げる必要があります

またアーチは直線になろうと伸びるので、それを打ち消す分、予めプレストレスで引き下げる必要があります。

仮定の鉛直支点を与えた状態にするのです。

これらによりタワーはアーチとして働き、曲げMはゼロとなります。



タワーの上付近を考え、示力図を考えます

(右上) ΣTは全ケーブル張力総和です。タテヨコの力に分解しておきます

(左下) このように力の釣り合いを考えますが。。あれ？T_vが余ってしまいました。吊り合っていない

このままですとこのT_vによりアーチに曲げMが生じてしまいます(中央付近コメント)

よってこうします(下中)

バックステイの張力Tを減らします。これで全部釣り合いました

つまりバックステイのプレストレスを調整することでアーチ曲げを回避するので

場合によってはプレストレス不要かもしれません

なお、バックステイは鉛直ですので水平成分T_Hを取り得ません(両者は直交している)

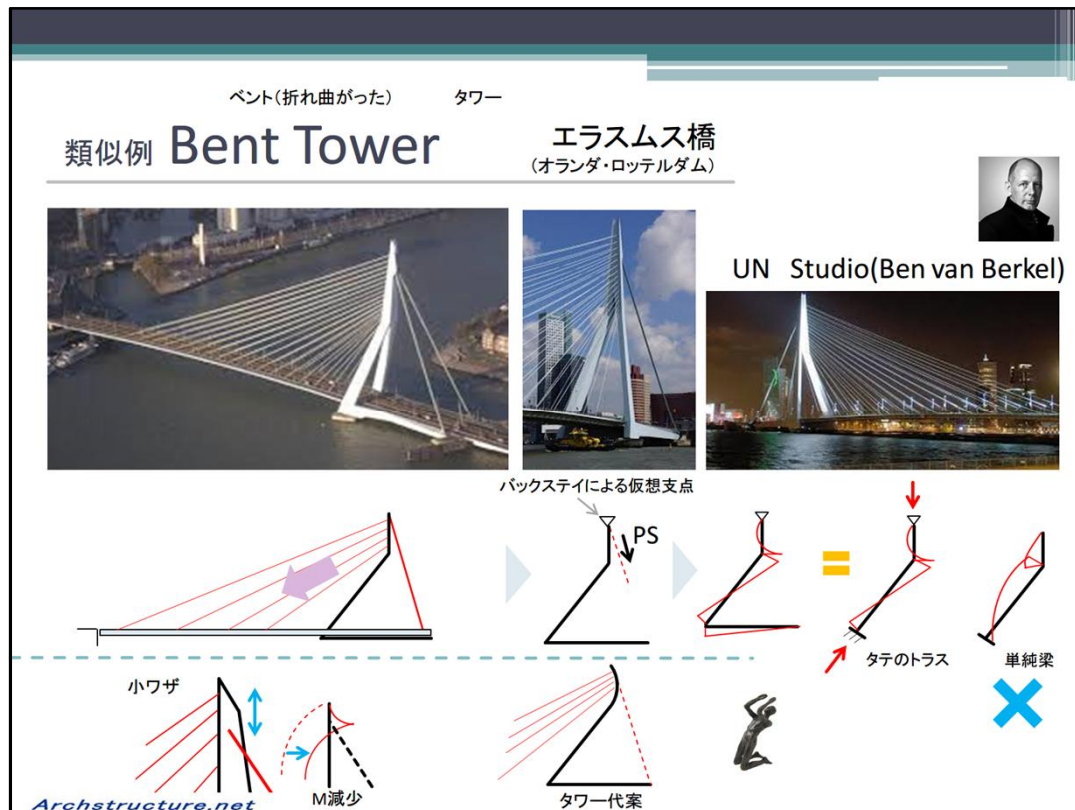
ということはT_Hは全てアーチで取っているのです



Vertical Archの他の案です



ちなみにこの2つはサイズが2倍近く違いますが、どちらも84億円とのことです
バレンシア(右)市民はお買い得だったのかもしれませんが



こちらは類似例です

(中段)

(左から1)このような状態ですが

(2)バックステイによりタワーTOPは仮想支点が与えられたような状態です

(3, 4)よってこのような曲げMの応力状態となり、タテのトラスに似た状態です

(5)決して、このような、単純梁のような応力状態ではありません

(下段左)バックステイを少しだけ下げるとその片持ちMによりタワーMを減らせる小ワザです

(右)タワー上部のみにVERTICAL ARCHを使えば曲げMもなくせ、このような擬人的形態にできます



これは何の写真でしょうか。。さきほどのエラスムス橋とサミュエル・ベケット橋が一緒に写っています

ベルケルとカラトラバが一触即発のにらみ合い！？

これは何かというと、アイルランドにあるサミュエル・ベケット橋はオランダの鉄骨工場で製作され、その後バージ（曳航船）でアイルランドまで海を渡って運ばれたのです。その途中でオランダに建っているベルケルのエラスムス橋の鼻先をかすめて行ったのです。

ベルケルはかつてカラトラバの事務所で働いていたことがあり、いわば師弟対決と言えます。

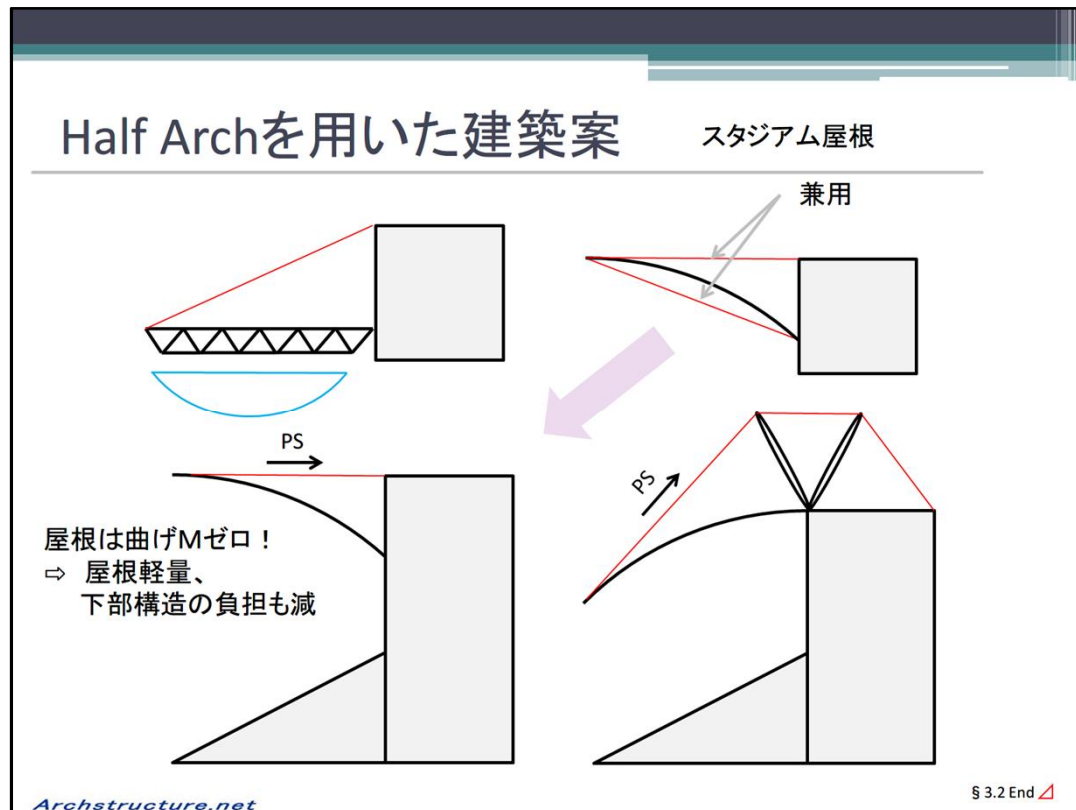
鉄道マニア、いわゆる鉄ちゃんの間では「〇〇駅で500系と700系がすれ違うんだよ～！（°▽°）」と盛り上がりますが、この写真は橋梁マニアにとってのまさにそれ！ブリッジマニア垂涎のお宝写真と言えます。

現代橋のトップレベルがすれ違っていきさま、いわばファッションショーで2人のビジンがすれ違っているようなものと言えます。



あたかもフジTVの楽屋前の廊下で、綾瀬はるかと北川景子がすれ違っているようなものかもしれません

二人の間に挟まれて、もみくちゃにされてみたいものです(>ロ<)



取り乱してしまいすみません。テンション上がってしまいました。

コホン。えっと、なんだけ。。。そうそう！

このハーフアーチを用いた建築案としてはこのようなスタジアムの屋根を考えることが出来ます

屋根は(理屈上)曲げMゼロですから屋根軽量、さらに下部構造の負担も減となり、耐震ブレースの数も減らせます

(左上)の場合ですと屋根の曲げMは図のようですから、大幅な違いがあります(曲げMの差は部材重量の差と言えるので)

左下の案は右上の2つのケーブルを兼用させたものだと言えます

3.3 Case Study

コード・ブリッジ

エルサレム イスラエル

サンティアゴ・カラトラバ



Archstructure.net

これまでを踏まえてケーススタディを行います

カラトラバのイスラエルの橋:コードブリッジです

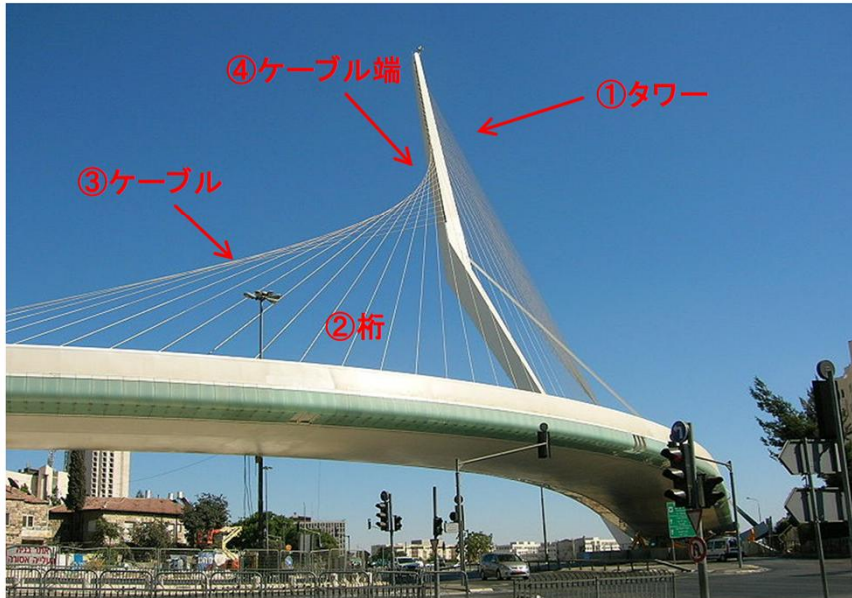
概要: カープ床のバックステイ橋 トラム(LRT)用の橋



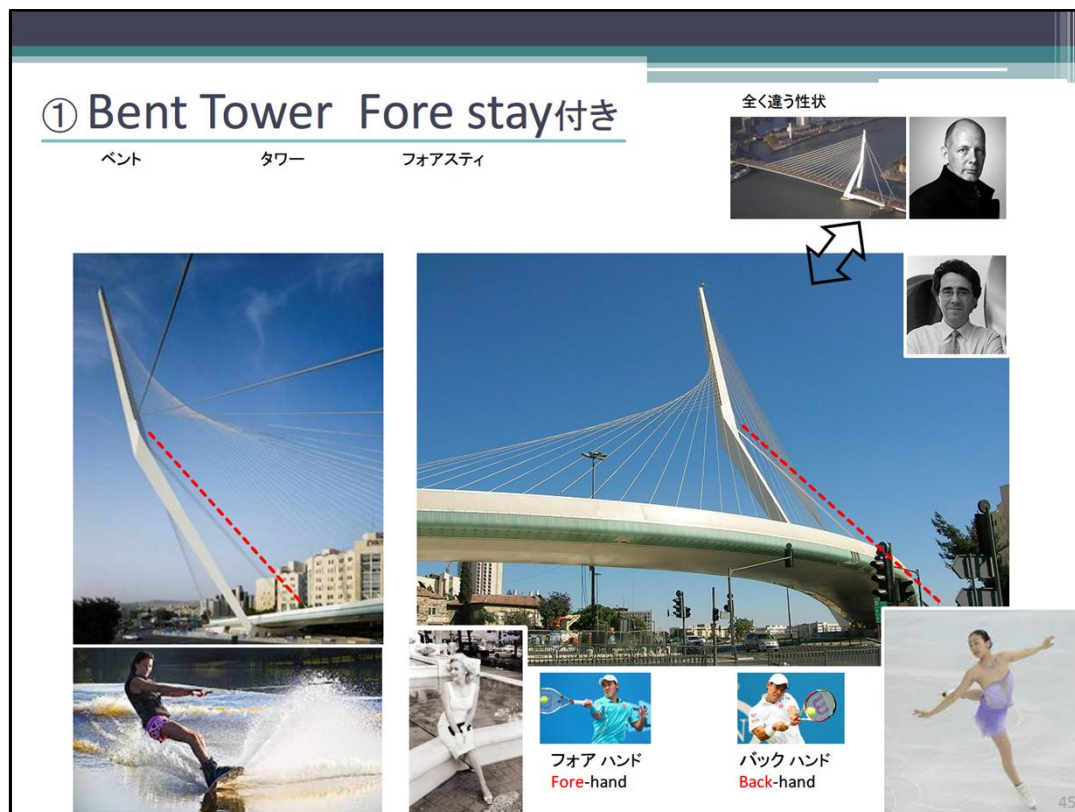
概要としてはカーブ床のバックステイ橋です
一見、斜張橋のようですが、右側のケーブルは全て地面に留められていますからバックステイ橋です

トラム(LRT:ライトレールトレイン)用の橋です

MENU



このような順:メニューでお話します



まずはタワー。

Bent Tower Fore stay付き。

支柱が折れ曲がっています

先ほど、ベントタワーとしてエラスムス橋を紹介しましたが、それとはとても似つかぬ応力性状となっています

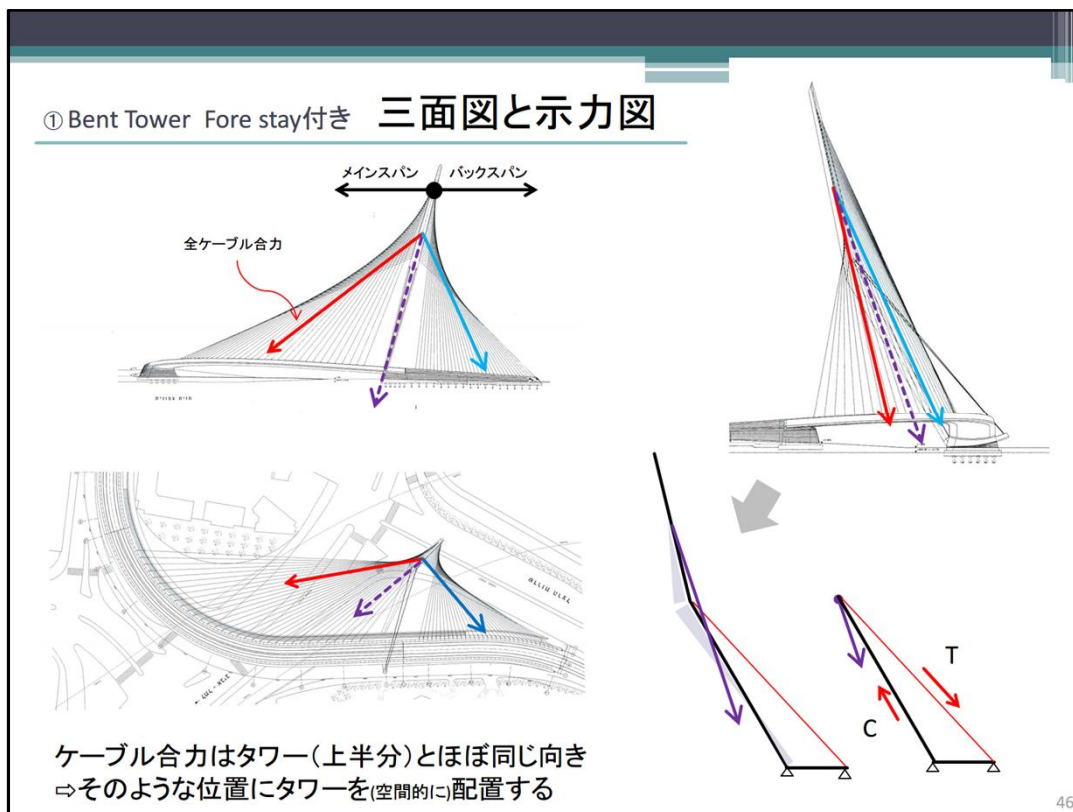
タワーの折れ曲がりはどこことなく女性が腰を折り曲げているさま(左: マリリンモンロー)を思わせるシルエットです

右側の真央ちゃんのように、腰を折って、さらに両手を広げたようなものかもしれません

支柱にはステイが前側についています

後ろならぬ前についていますからバックステイならぬフォアステイです
テニスでは前で打つのがフォアハンド、後ろはバックハンドですからね

折れ曲がって前に引っ張る。ウェイクボードをしているイメージですね



力の性状を知るために3面図とともに示力図を書いてみます

矢印は全ケーブルの力の和: 全ケーブル合力です

(左上) 左のメインスパン、右のバックスパン。その2つの合力: 角度を2分する位置に力が入りますが、その向きは見事にタワーと一致しています。

本来は逆にそのような位置にタワーを配したのですが。

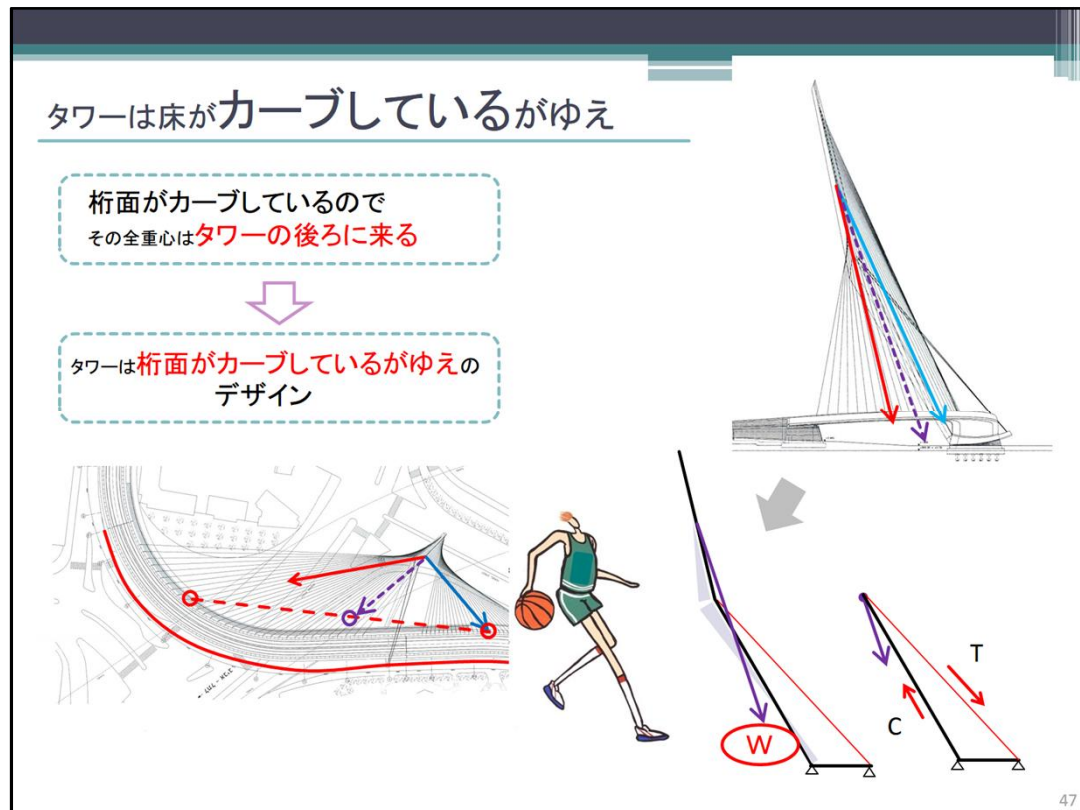
残りの2面も図を書いてみます。

ケーブル合力はタワー(上半分)とほぼ同じ向きとなり、逆に言うとそのような位置にタワーを(空間的に)配置する、ということとなります

(右下) なお側面図の示力図ですが、合力はタワーとわずかだけズレています。そのズレ分、曲げMが生じますが大した量ではありません。

大局的に見ると(右端)のような状態だと言えます

(T: 引張 C: 圧縮)



左下、赤のカーブの線の部分がタワーに関わる部分です

タワーへ掛かる力はメインスパン、バックスパン(各赤丸)の中央:紫丸位置となります
これが桁の全重心位置となります

上記は桁がカーブしているので桁の外:内側に来ます

つまり右下図のように全重心はタワーの後ろに来るのです。

前に(フォアステイで)引張り、タワーは圧縮、という力の流れは重心が後ろにあるがゆえであり、つまりタワーのデザイン(構成)は床がカーブしているがゆえなのです
イメージ的には上図、体の後ろでドリブルしているようなものです

もし仮に桁が真っ直ぐなら、重心はタワーの前に来るのでCとTは逆転することとなり、
タワーデザインも変わるでしょう



我々が見ることができる 最終案が右端ですが 初期案は左の2案だったとのことで
つまり初期案2の時に、カトラバ事務所の誰かがタワーを曲げ、そして前に引っ張る
ことを思いついたのです！
それはボス(カトラバ自身)なのか、 凄腕スタッフだったのかは分かりません

これはコロンブスの卵だと言えます

コロンブスの卵とは、氏が卵をぐしゃっと割って立てた時に、それなら誰もができる、と
周りが嘲笑したのに対し、「ではこれを私より先に思いついた者はいたのかね？」と
言って黙らせた、という逸話です

つまり物事を思いつく(高度な創造力が要る)のとそれを後から分析(批評)する(誰でもできる)
のは別次元。別の世界。だということです。

我々はこの完成案の橋を分析は出来ますがタワーを曲げる案を思いつくことはできる
でしょうか。こんなんでしょ。フォアステイなんてみたことがありませんから。

構造デザイン(構造設計)も結局は解析能力などではなく**アイデアの発想力**なのです。

ちょっと寄り道

じゃあアイデアの発想法は？



ジェームスW. ヤング
「アイデアの作り方」
1940

によると。。

アイデアとは

既存の要素の新しい組み合わせ

以外の何ものでもない！

全くの無、ゼロから産み出している訳ではない！

ちなみに同書によると。。

アイデアの生産の過程は。。

1. データ集め
2. データの咀嚼
3. データの組み合わせ
4. 発見した！の瞬間
5. アイデアのチェック

まずは

- ✓ 色んな本を読む
 - ✓ 経験を積む など
- 素材をアタマに入れねば。



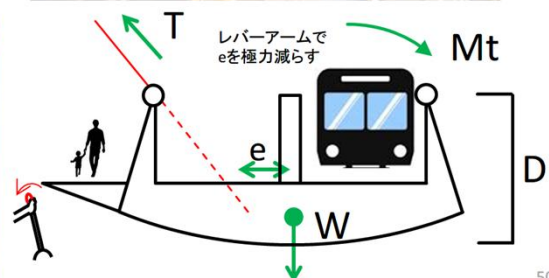
上記本によるとアイデアとは**既存の要素の新しい組み合わせ**以外の何ものでもない！ とのことです

そうするとまずは素材、材料を自分のアタマに入れておく必要があります
情熱という炎でアタマ(鍋)を温めて、ゼンブ溶けて跡形もないくらい煮詰めておけば、
いいときにそれが組み合わせさっていいアイデアとなるかもしれません

②桁はリングガーダー



レバーアーム付き
LRTの路線(12t/m!)を片面吊り!



50

桁はカーブしていますが、前述のリングガーダーとなっています

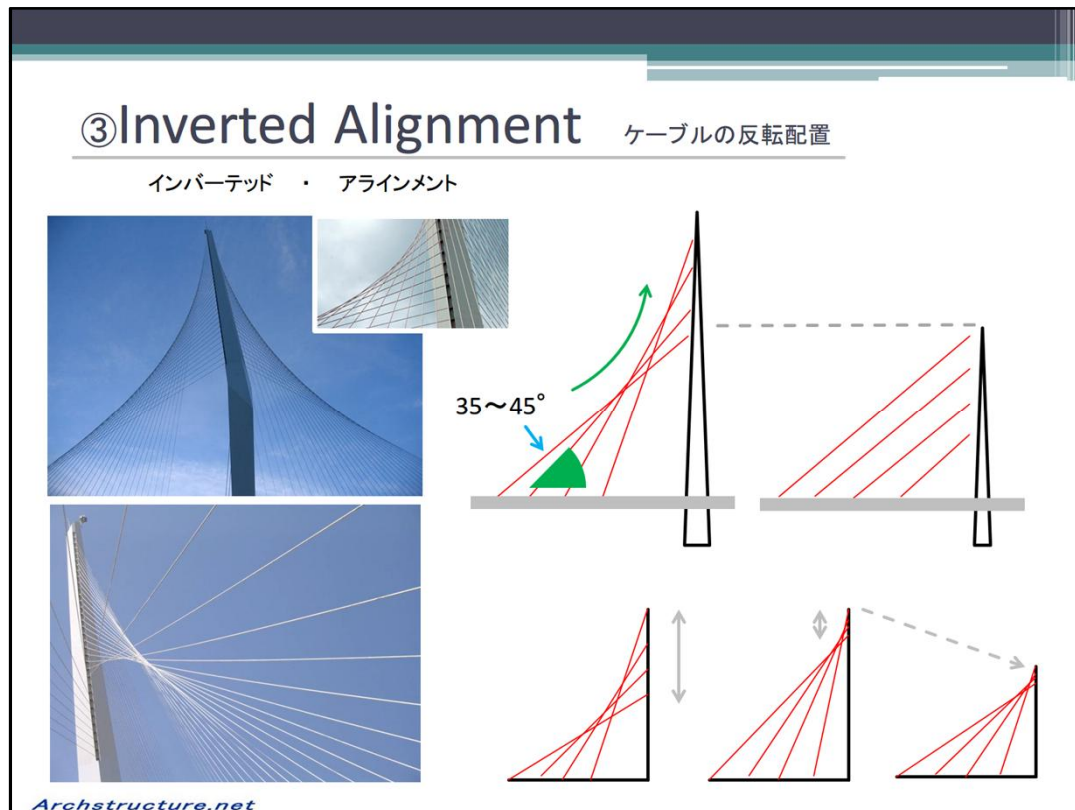
桁は断面が山田の山の字ようになっており(山岸舞彩の山かな?それとも山本美月の山かな?)

これは前述のレバーアームとなっています。

ケーブルはこのトップに取り付き、引き上げています

これにより桁重心Wとの偏心を極力減らしてMTを減らし、さらに梁成としては手すり(レバーアーム)を加えたDで抵抗します

先ほどリングガーダーは変形が大きくなるおそれがあるので屋根や歩道橋にとどめたほうがいいと申しましたが、こちらではそれどころか鉄道橋を吊っているのです



次はケーブルです

インバーテッド・アライメント: ケーブルの反転配置です

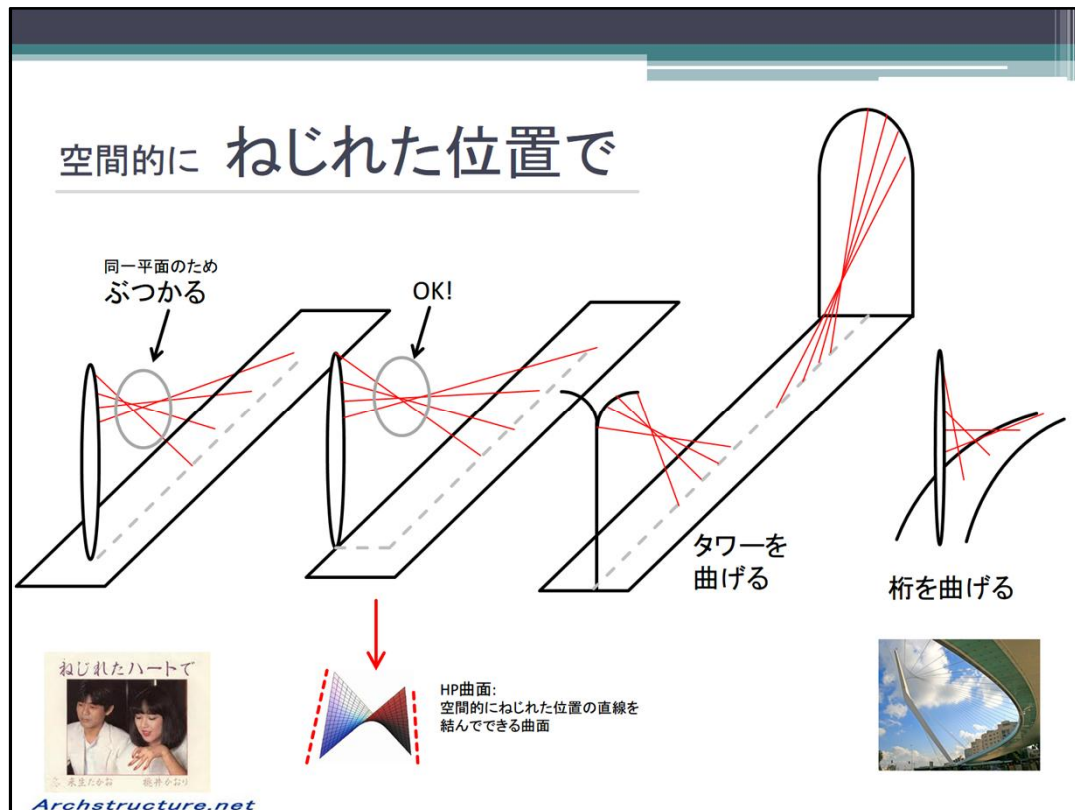
遠いケーブルを下に、近いのを上に、と張っているのですがこれによりなめらかなカーブが描かれます

しかしこのとき、最外端のケーブルが35-45° 程度となっていないと効きません

それらの結果、通常の斜張橋(右端)に比べ、タワー高さは高くなると言えます(下段)

ただ、(左)幅を持って反転させるやりかたや(中)TOPをちょっとだけひねるやり方もあります。

その場合、(最外端ケーブル35-45° とすれば)タワーは低くすることが出来ます



(左)タワーとケーブルを同一軸で張ってねじった場合、同一平面ですのでぶつかってしまいます

(中左)これを、タワーをずらし、ケーブルを張れば、ぶつかりません。これはHP曲面の定義と言えます。

HP曲面とは、空間的にねじれた位置にある直線を次々に結んで出来る曲面だからです

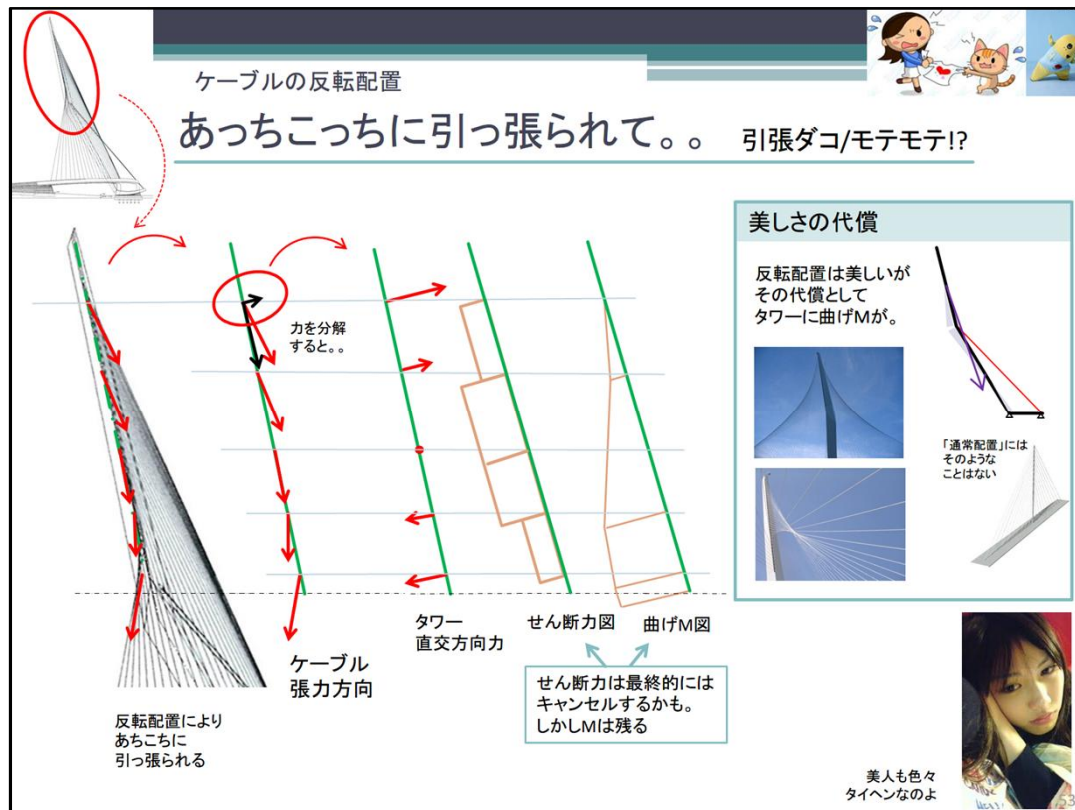
(中右)またタワーを曲げたり

(右)桁を曲げたり、でもOKです

桁を曲げるとは本末転倒かもしれませんが(桁は道路要求で決まる)桁が曲がっている場合にこの反転配置が使える、ということです

コードブリッジはこのタイプです

(左下)この曲を知っているなら40overでしょう。懐かしいですね



(右上はモテモテの人です)

前述の側面図を見ます

ケーブルの反転配置のためにタワーはあっちこっちに引っ張られます
張力をタワーのタテヨコに分解して、直交方向力を考えると
せん断力図、曲げモーメント図はこのようになります

せん断力は下端では相殺されてゼロとなるかもしれませんが曲げMはモーメントアーム(距離)との掛け算ですから図のように残ってしまうでしょう

通常のケーブル配置ではこのようなことは起こりません
反転配置は美しいものですがその代償としてタワーに曲げMが生じているのです。

これは美しさの代償とも言えます
ビジンはビジンにしか分からない悩みがあるのでしょう
色んな男にあっちこっちから引張ダコで疲れているのかもしれませんが

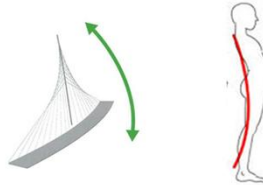
僕もこんなビジンに引張ダコにされてみたいものです
(綾瀬はるかや北川景子のような)

ケーブルの反転配置

ローラン・ネイ/広島平和橋(コンペ)



反転配置 / 胸を張ったように曲がるタワー



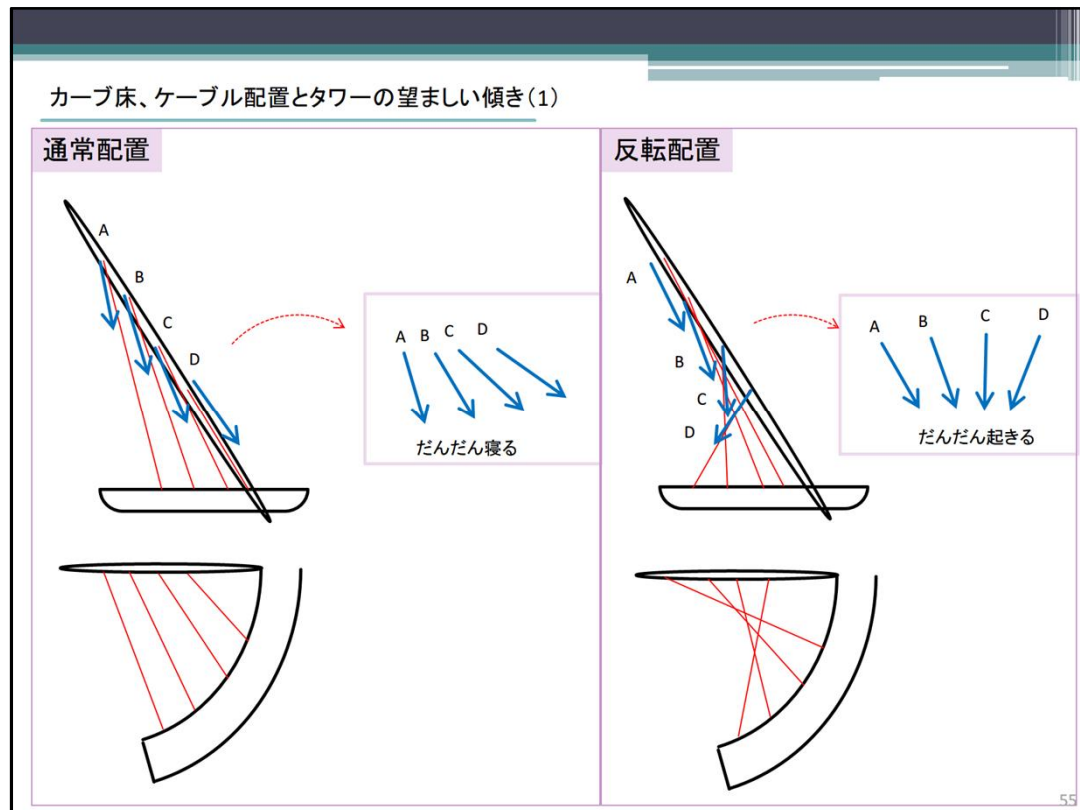
Archstructure.net

話が少しモコミチ。。いや横道にそれます
オリーブオイルが似合うイケメンの話ではありません

反転配置の例としてローラン・ネイ氏の広島平和橋(コンペ案)を取り上げます

この特徴はタワーが人が胸を張ったような形態をしていることです

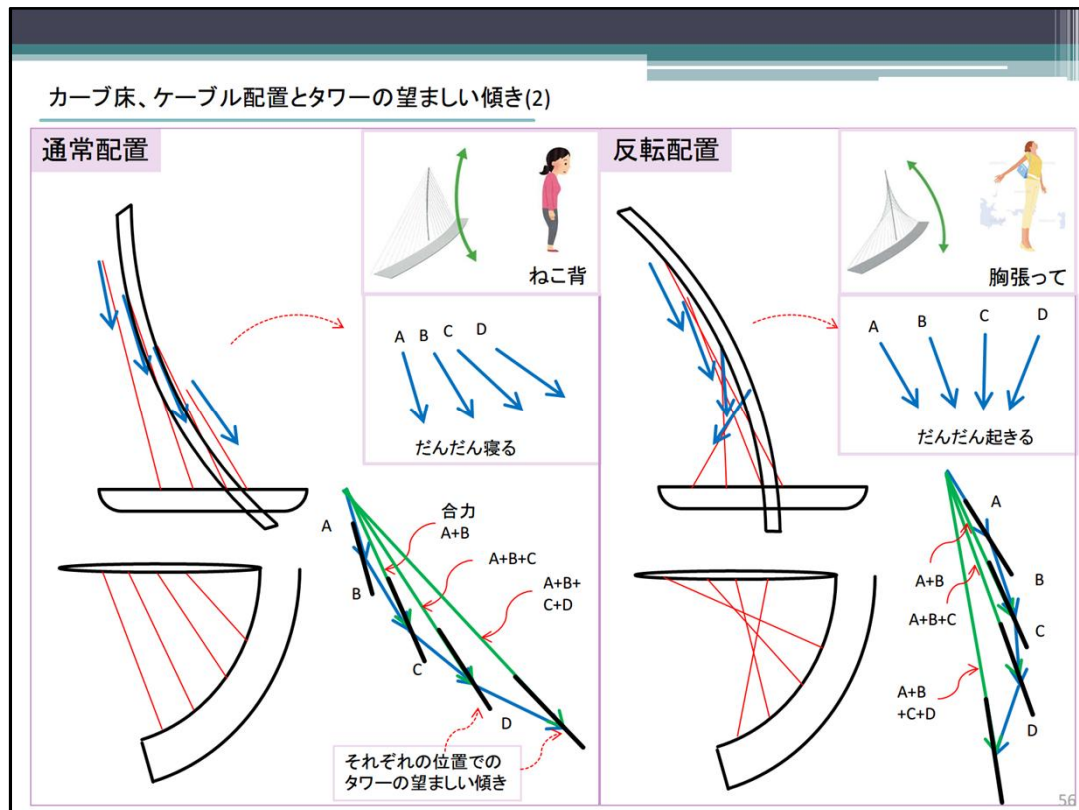
右端は、よく胸を張っている人です(^^;)



床がカーブしている斜張橋を考えます

(左)ケーブルが通常配置(順配置)の場合と(右)反転配置の場合、
タワーへの力の入り方はそれぞれ上記A-Dのようになります

順配置では力の入り方はだんだん寝る方向、反転配置ではだんだん起きる方向です



タワーの傾きの望ましい方向は、ある点より上の力の全合力と同じ方向です(下段矢印=合力図)

これよりその方向は上図(合力図内の)黒線の方角となります

結果、両者の望ましいタワー形状は上図のようなカーブになります

順配置では猫背、反転配置では胸を張った方向です

デザインでタワーを曲げたのではなく、力学的にタワーが曲がるというのは興味深いものです。これぞ構造デザインと言えます

前ページ、ローランネイ氏の案では、胸を張ったような形態なので見た目が望ましい、だから反転配置にした、というようなアピールとなっていました

余談ですが本コンペはいかに周囲と調和したものとするか、というのが主眼、重要でしたのでおとなしい、自己主張のあまりないものが求められました
これより吊り構造は優勝の可能性が薄く、桁橋が有力でした

ネイ氏の案は美的には素晴らしいですが、上記を満たしている、とは言えないでしょう
個人的には、なぜ上記条件で本案を出したのか疑問です。負ける可能性が高く、そればかりか他者へのアイデア提供、ネタバレにしてしまうからです

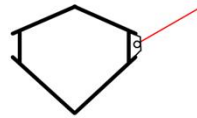


反転配置の他の例です

(左)アーチが橋軸と直交しているものは俗にHOOP型アーチと呼ばれます

右はカラトラバが初めて反転配置を行ったものです(バックステイ部分)

④ ケーブル端もスツキリ ♪



Archstructure.net

4. ケーブル端もスツキリ、というお話です
タワーの断面は右のようになっています

ミルウォオキー美術館

トリニティ橋

ケーブル端もスッキリ♪




問題点

タワーがあまりにも細いと。
Cable端のG.PLやフォークエンドが見える
⇒枝の節のようなゴツゴツした印象に。
⇒**タワーの見た目がスッキリしない**




解決案1

タワーがある程度太いとそれらを内包できる。

解決案2

細いケーブルを多数用いると
端部も小さい(負担力が小さいから)
→**スッキリ♪**



これは2つともカラトラバの橋です

上案のようにタワーがあまりにも細いとCable端のG.PLやフォークエンドが見えてしまい枝の節のようなゴツゴツした印象になります。

これよりタワーの見た目がスッキリしません

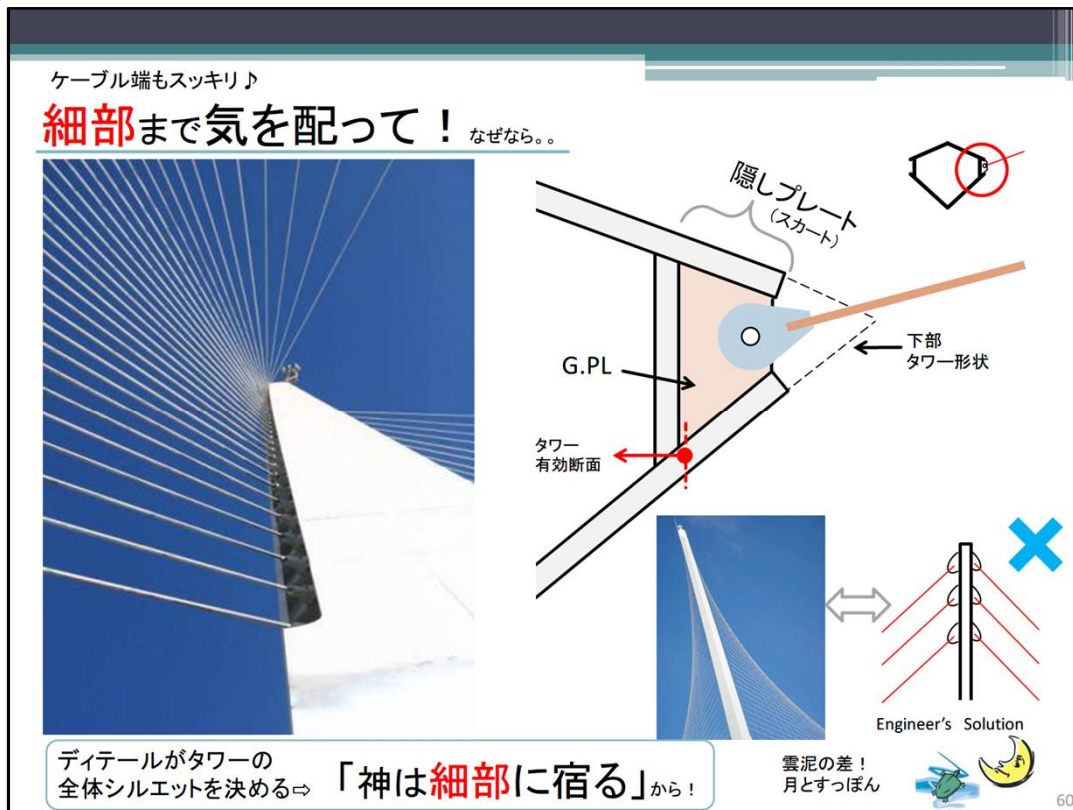
この解決方法としては

1)タワーがある程度太いとそれらを内包できます。下のトリニティ橋が例です

2)としては、細いケーブルを多数用いることです

細いケーブルは耐力も小さいですから端部金物(フォークエンド)も小さくなります

結果、橋全体として、それらのディテールが目立たなくなり、スッキリできます♪

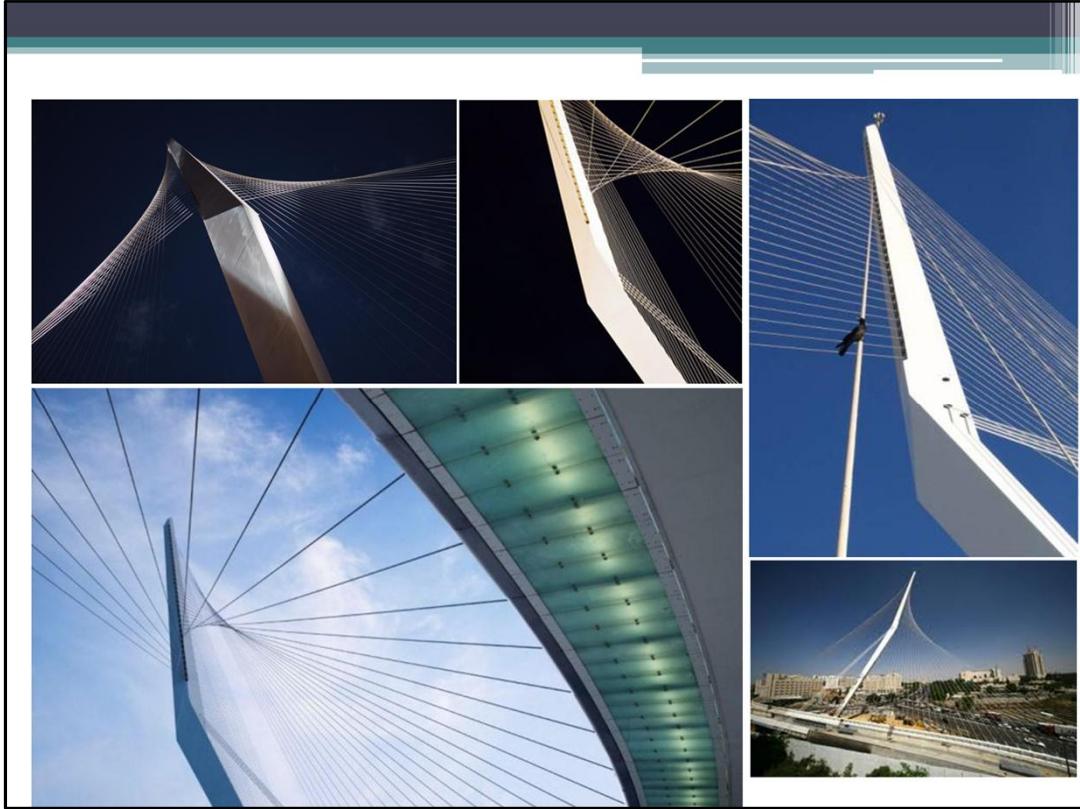


本橋、タワーのディテールはこのようになっています
 タワー側面を断面欠損させ、G.PLを設け、そこにケーブル金物を留めています
 G.PLヨコのプレートは隠しプレート、スカートだと言えます

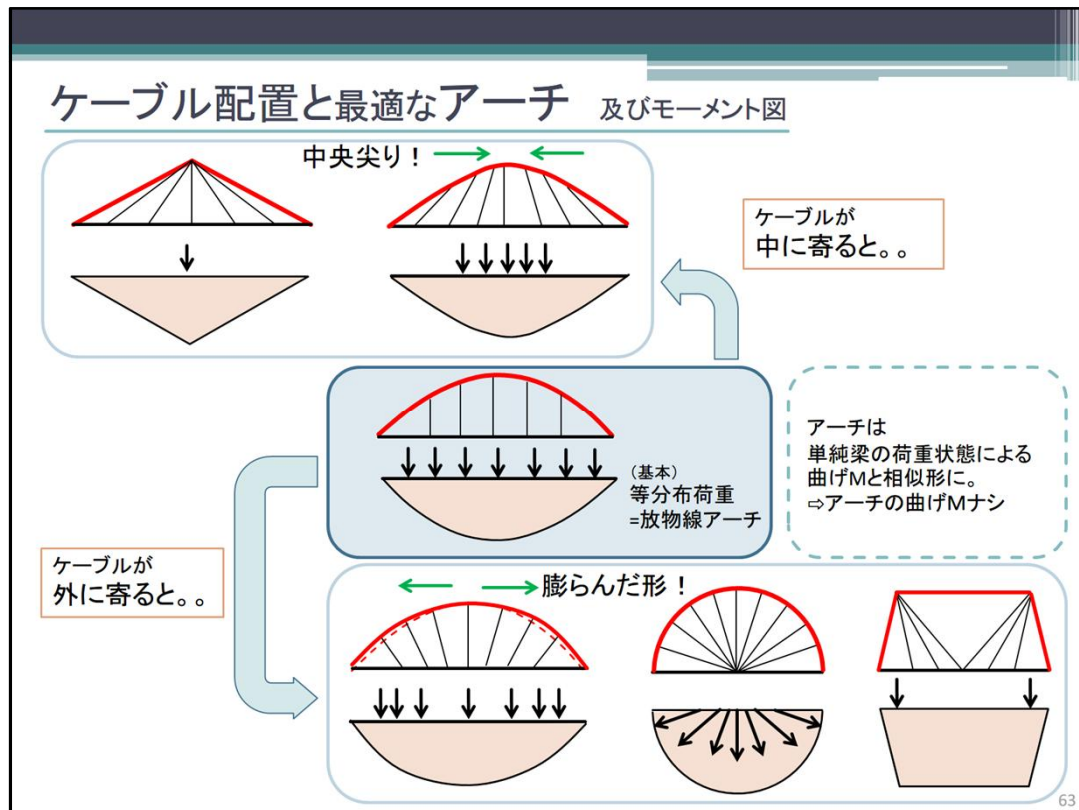
これによりケーブル金物は外からほとんど見えません。(中写真)
 結果、タワーのシルエットは非常にスッキリしたものに仕上がっています
 このようにディテールがタワーの全体シルエットを決めており、これはまさに「神は細部に宿る」だと言えます

我々技術者だと(右端)のような案にしがちです。
 そして「これで何が悪いの？(構造的)要求は全部満たしているよ？」などと豪語しがちです
 しかし本橋のタワーと比べると美しさは雲泥の差です
月とすっぽんぽんなのです

あ、すっぽんか。間違えました。お詫びして訂正いたします
 いつもアタマに考えていることがとっさに出てしまうものです



3.4 その他 断片的トピックス



アーチは中央のようにケーブルをまっすぐ(鉛直)にするのが基本です。この場合アーチは放物線です

しかし上図、他に示したようなケーブル配置にすれば最適なアーチは図のようになります

ケーブル配置をちょっと変えるだけでこれだけ様々なデザインがあるのです

ヨーロッパのことわざに「戦争と恋愛ではあらゆることが許される」というものがあります。左記の目的達成のためにはあらゆる手段を用いねば、ということです

これはビジネスやデザインの世界でも同じです。

美しいもの、他人に負けないものを作ろうと思ったら教科書に書いてあること(放物線アーチ)だけやればいいというものではないのです。

あらゆる手段で自力でそれらを考えだし、または探してこななければならないのです

北川景子か綾瀬はるかと恋愛する方法がどこかに書いてあったら教えて下さい(他力本願(>o<))

ケーブル配置と最適なアーチ



ボローニャ歩道橋/マッシモ・マイヨビエツキ(伊)

Massimo Majowiecki



カトラバ/ヴォランティン橋(ビルバオ)



アテネSTも同じケーブル配置

64

これは全ページの実例です

ケーブルが中央付近に集まることで希望に満ち溢れて上を見上げているような上昇感が感じられます

ケーブル配置だけでそんなことが表現できるのです

2004のアテネスタジアムも同じケーブル配置です

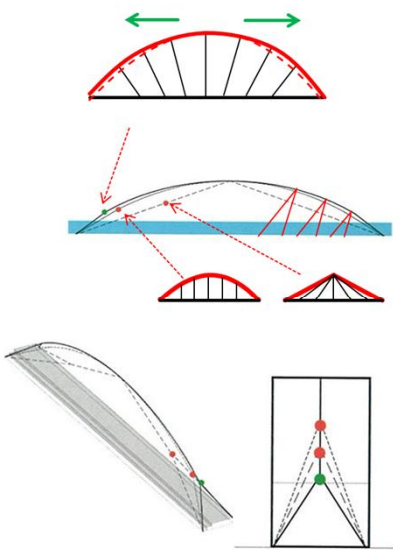
カトラバはアテネはビルバオの橋を2つ乗せたようなものだと言っていました

Oversteekの橋(オランダ)/ローラン・ネイ



- 足元がV型に開き、車を通す「ゲート」に。
- ケーブルを外に寄せて配置することでアーチを「膨らませ」た
- それによりゲートが「立つ」

非常にスマート/力学ならではのデザイン




§ 3.4 End 65

今度は膨らんだ案です

ケーブル配置によりアーチが膨らみ、逆Vのゲートを立った位置にすることができました

これは「力づく設計」(アーチをとりあえず望む形にしておいて、あとは出てきた応力に持つように強引に鉄板厚さを決める)とは真逆の、スマートな設計と言えます

ケーブル配置だけでアーチを膨らませ、望ましい形と出来ました。スマートな設計です僕は膨らんだお腹をへこませてスマートになりたいです(泣)

ご清聴、ありがとうございました。 いや、笑い声が響いて清聴ではなかったですね