



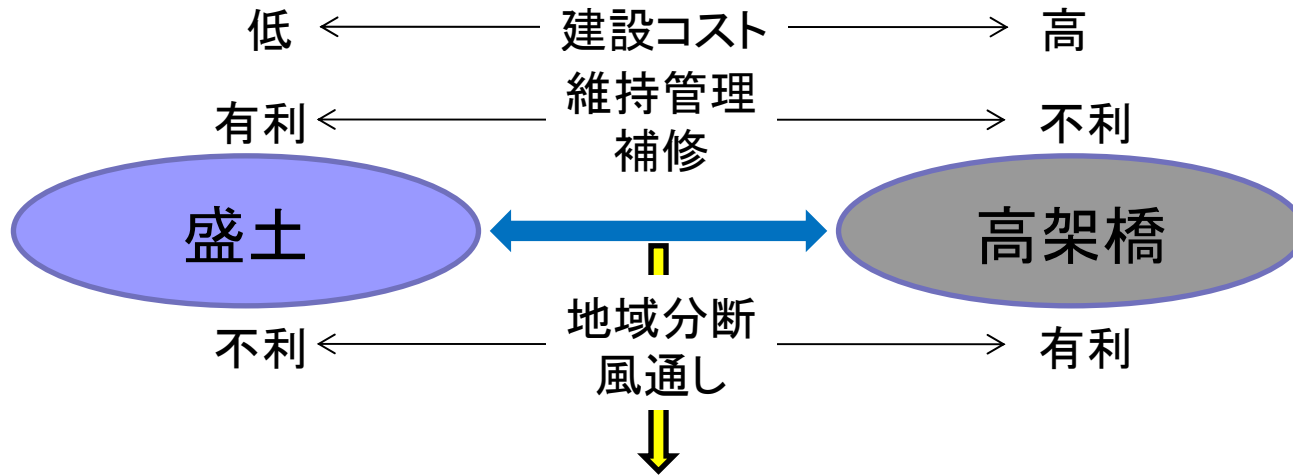
景観性に優れたアーチカルバートを を用いた盛土構造に関する研究

産: ジオスター(株), 日本ゼニスパイプ(株), 日本コンクリート工業(株), 日本ヒューム(株), (財)地域地盤環境研究所, 復建調査設計(株)

学: 京都大学大学院工学研究科, 京都大学産官学連携センター

官: 国土交通省近畿地方整備局(道路部, 滋賀国道事務所, 紀南河川国道事務所)

研究背景



- 連続的にアーチカルバートを挿入
- 盛土と橋梁の中間的な構造物
- 圧迫感がなく景観性に優れている
- コスト: 高架橋 > 連続アーチカルバート盛土 > 盛土
- 施工性に優れている: プレキャスト部材



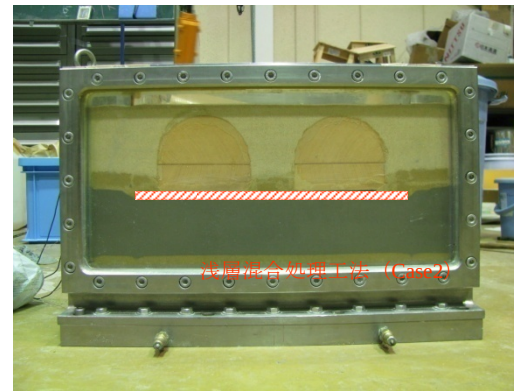
プロジェクト内容

- 構造物として安定性
耐震性, 軟弱地盤対策,
不具合事例収集
- 設計・施工規範の構築
- 実プロジェクトを想定したシミュレーション設計(3例検討)
- 景観設計の検討
- メンテナンスマニュアルの構築



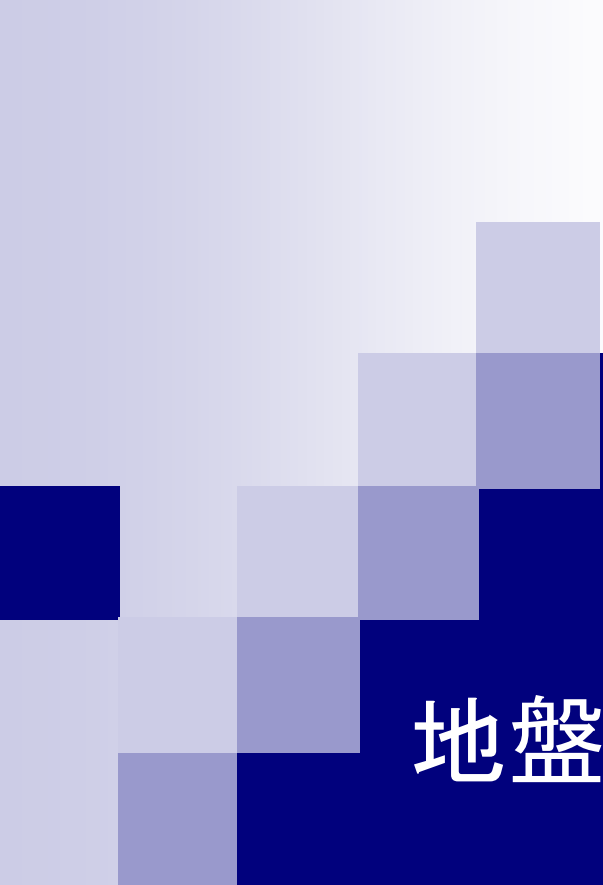
発表内容

■ 軟弱地盤対策：地盤改良範囲の対策



■ 景観設計の実施





軟弱地盤上に設置する 多ユニットアーチカルバートの 地盤改良領域に関する基礎的研究

1.1 研究の背景

多ユニットアーチカルバートとは

…プレキャストアーチカルバートを横断方向に連続的に設置した盛土構造物

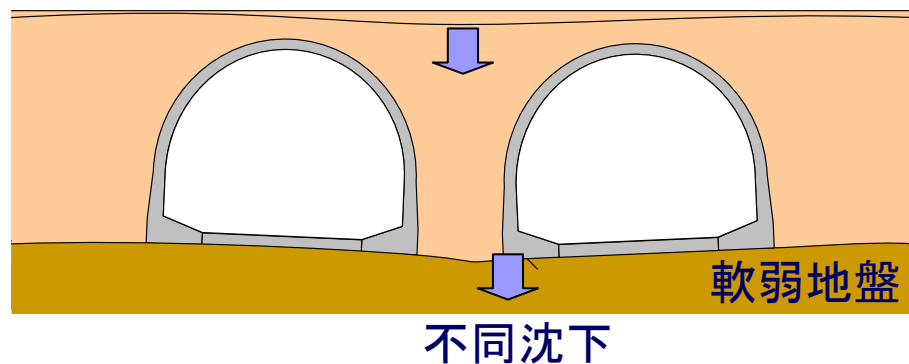


- ◆ アーチ形状により周囲の景観に調和
- ◆ プレキャスト部材なので施工性に優れる
- ◆ 高架橋に近い開放感
- ◆ 高架橋に比べて低コスト
- ◆ 盛土構造なので維持管理が容易
- ◆ 廃土の利用で環境にやさしい

➡ コスト縮減の観点から、需要は増加していくと推測される

1.2 現状と課題

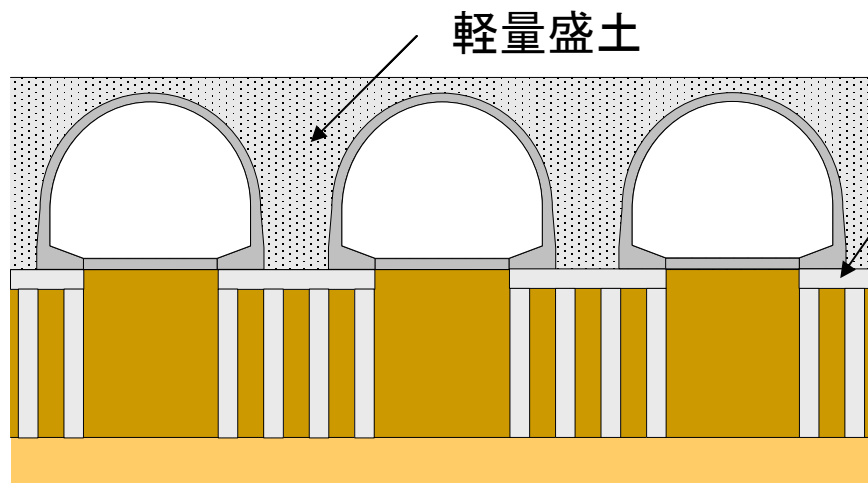
このような構造物を軟弱地盤上に設置した場合 ◆ 脚部の不同沈下 ◆ 周辺地盤の沈下



- ◆ 予測不可能な応力集中が発生
→ アーチカルバートの安定性に影響
- ◆ 周辺構造物との接合部に不陸
→ 道路としての性能の低下

➡ 地盤改良などの軟弱地盤対策が必要

中島高架の場合

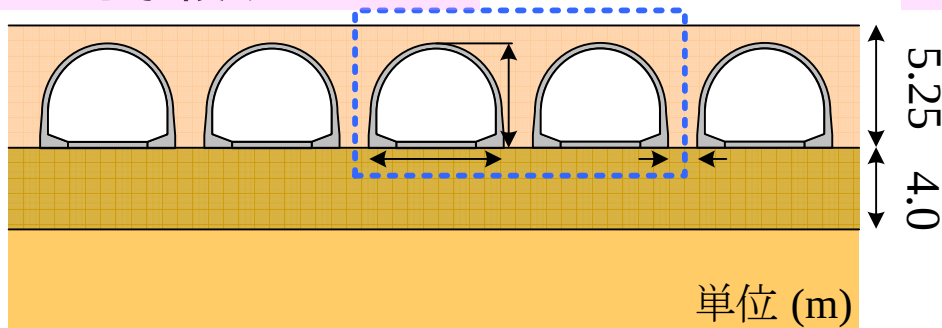


地盤改良には多大なコストが必要

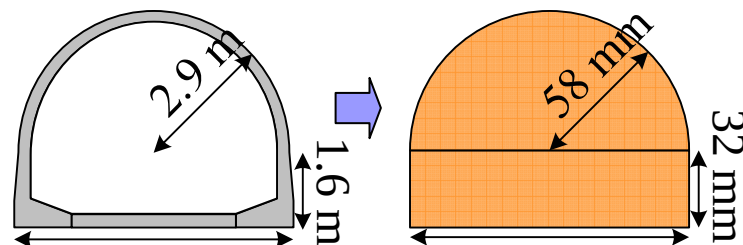
適切な地盤改良形式・改良厚の提案

2.1 遠心模型実験 (50G)

◆ 対象領域



◆ アーチカルバート

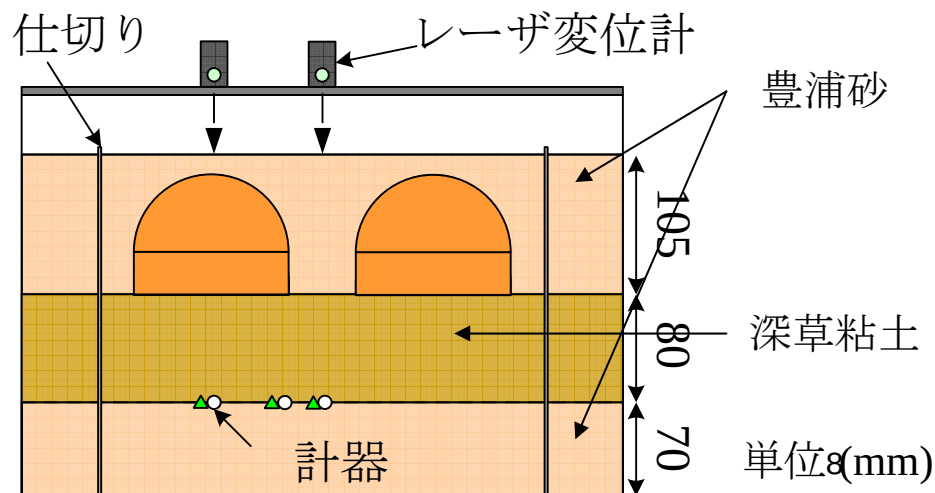


ユニット重量 = 模型重量

◆ 相似則

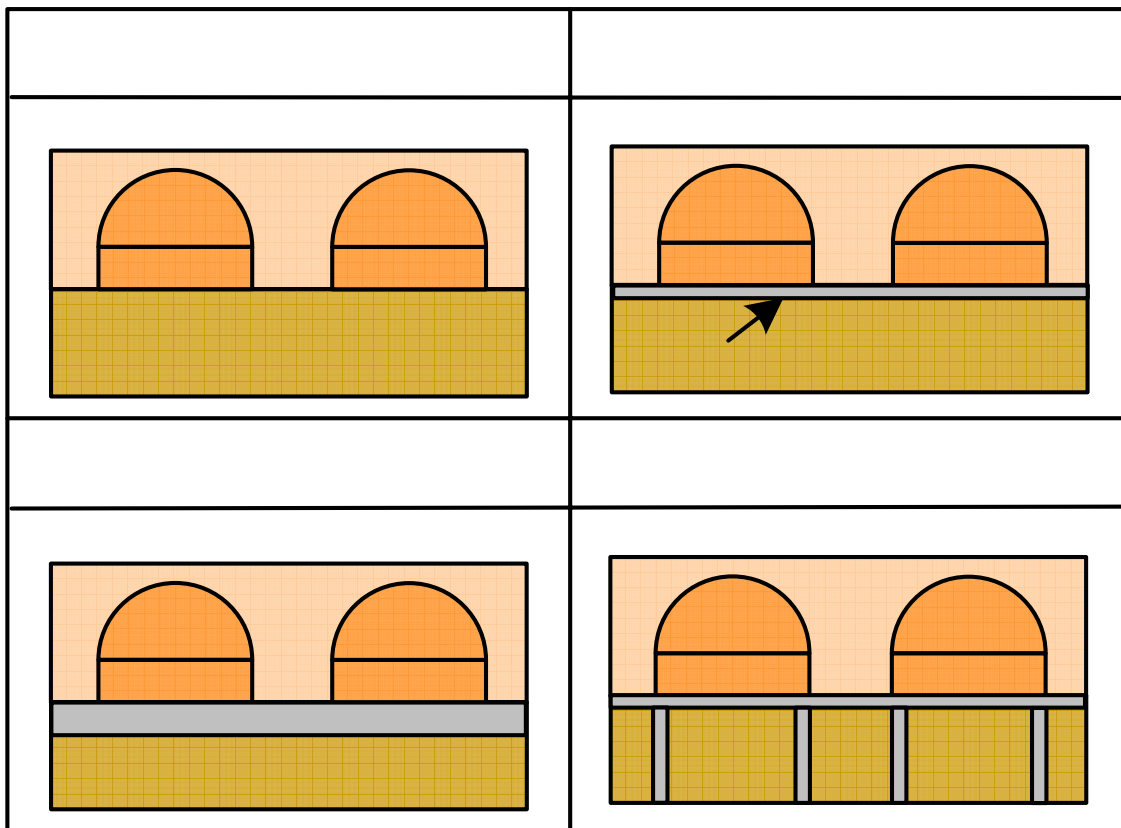
実物と同様の自重応力状態

◆ 実験概要図



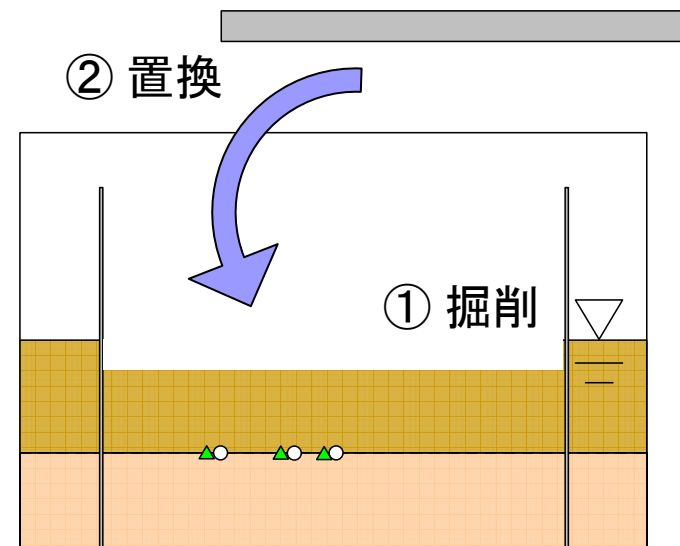
2.2 実験パターン

◆ 実験パターン

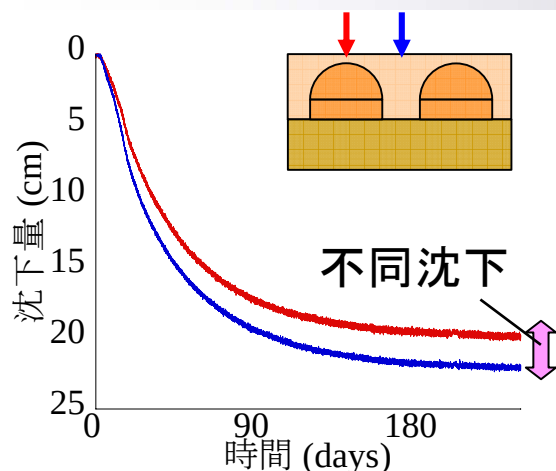


◆ 地盤改良

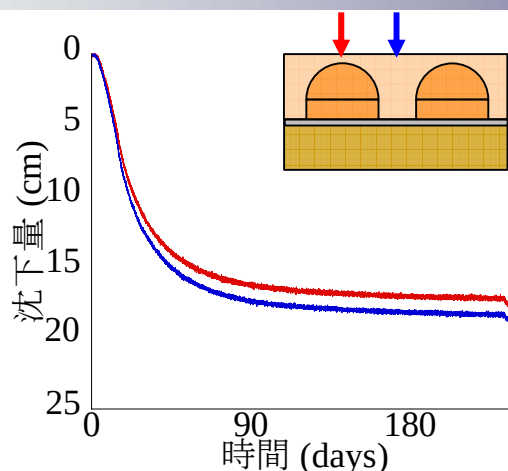
- ・地盤改良体を事前に作成し、
地盤を掘削・置換することで模擬
- ・地盤改良体は排水性良



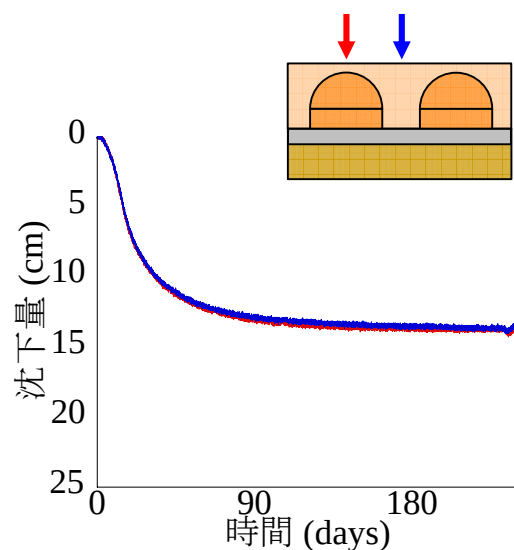
2.3 沈下



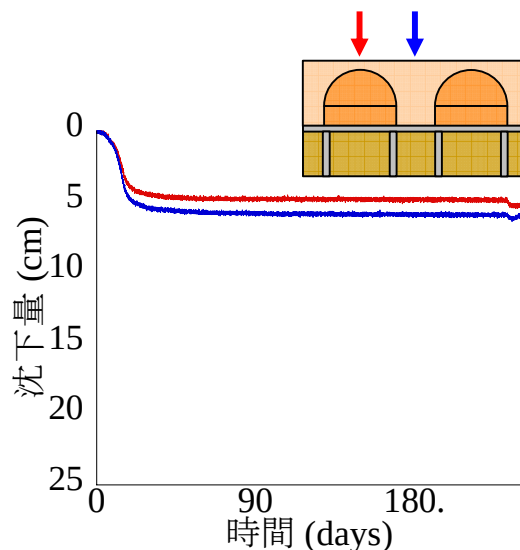
(a) Case1



(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4

◆ 淺層混合處理工法
改良厚大

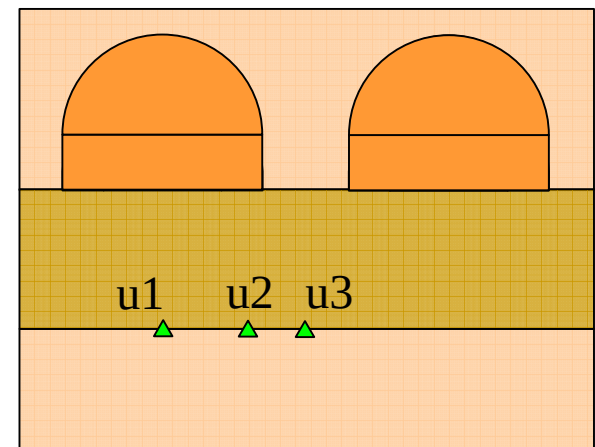
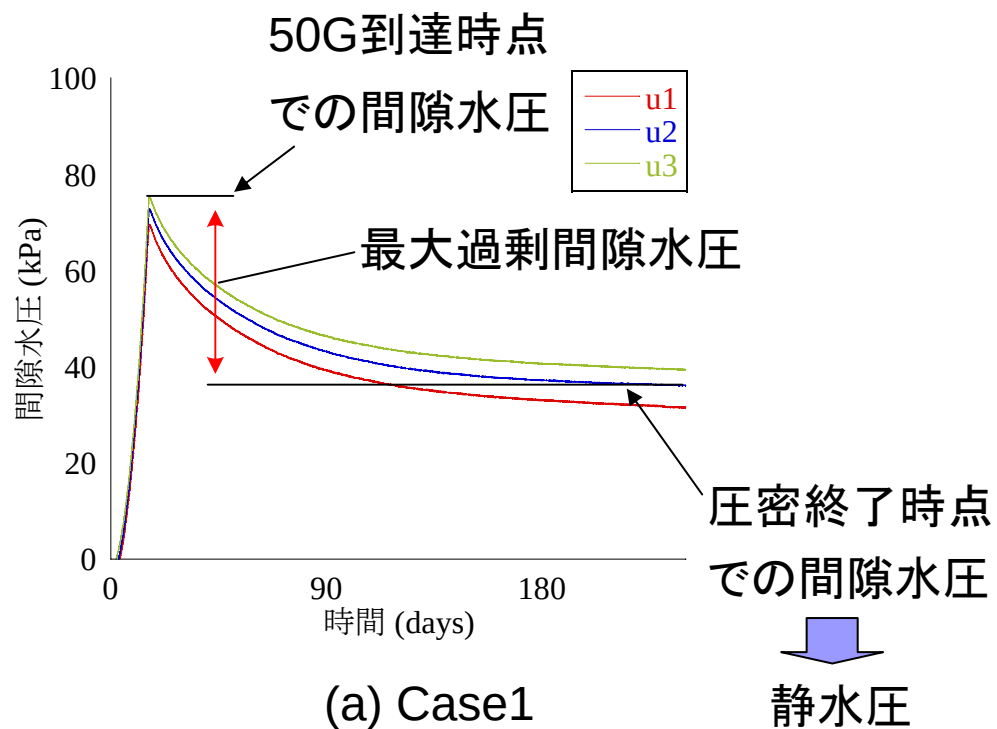
不同沈下抑制效果:大

◆ 淺層混合處理工法
+ 深層混合處理工法

沈下抑制效果:大

2.4.1 間隙水圧

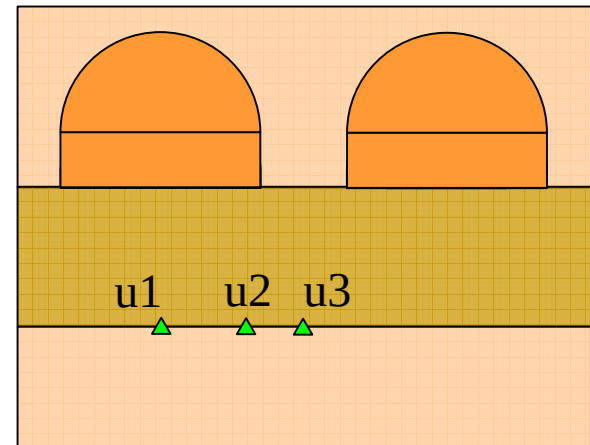
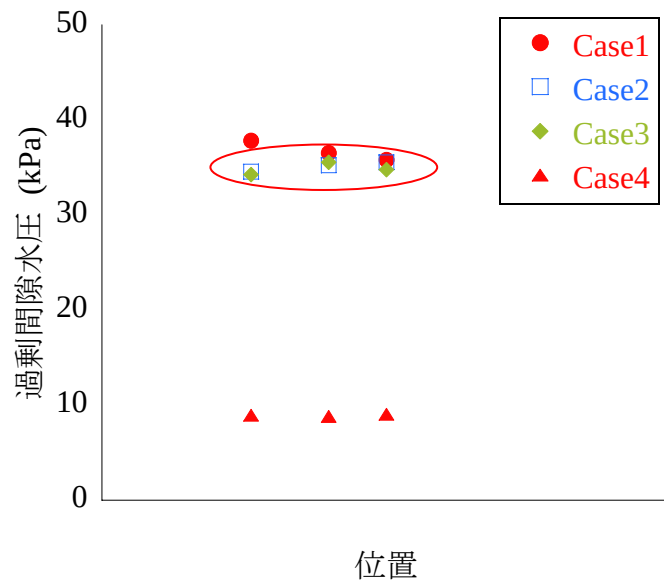
◆ 間隙水圧補正



上図のように最大過剰間隙水圧を各ケースごとに取り

2.4.2 間隙水圧(2)

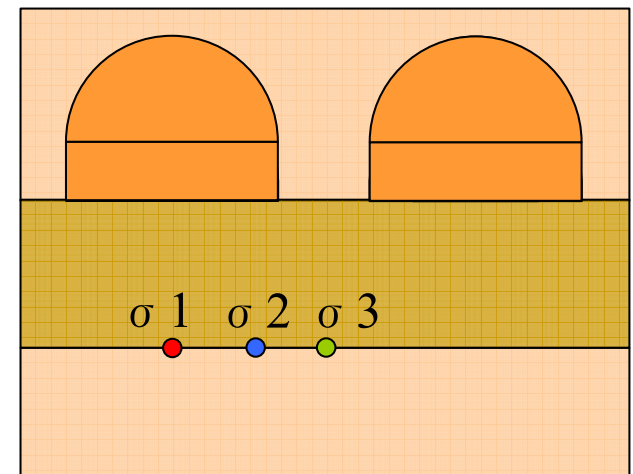
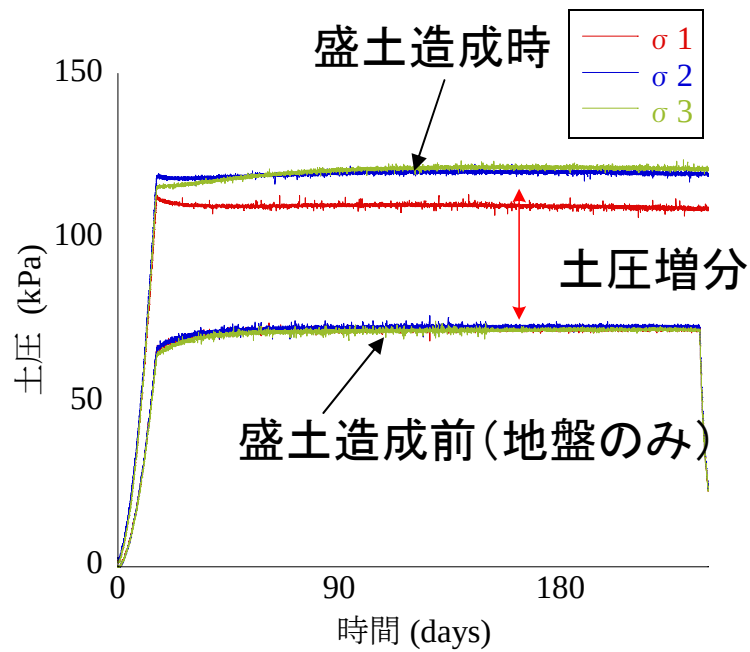
◆ 最大過剰間隙水圧(50G到達時点)



- ◆ Case1 - u1は排水長が大きい → 間隙水圧が滞留
- ◆ 浅層混合処理工法によって荷重が均等化(Case2, 3, 4)

2.5.1 土圧(1)

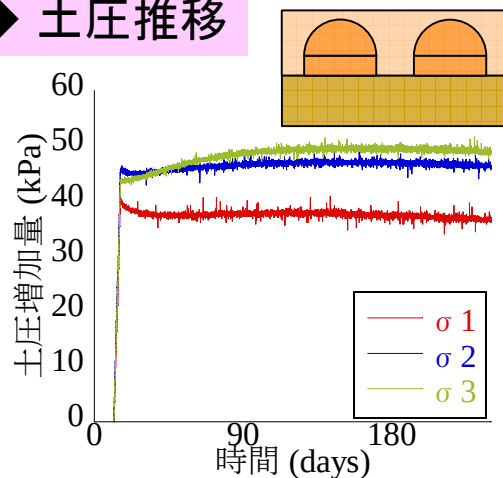
◆ 土圧補正



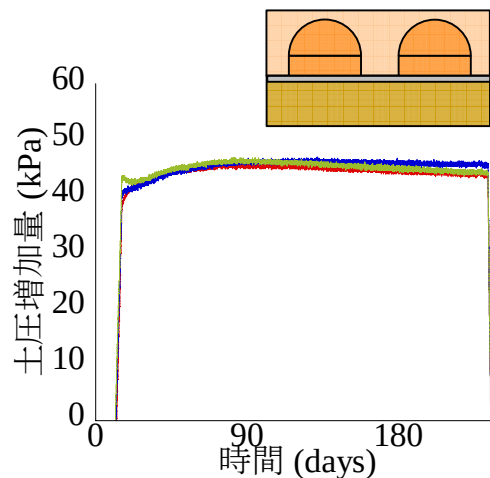
盛土による土圧の増加 = 盛土造成後の土圧 - 盛土造成前の土圧

2.5.2 土圧(2)

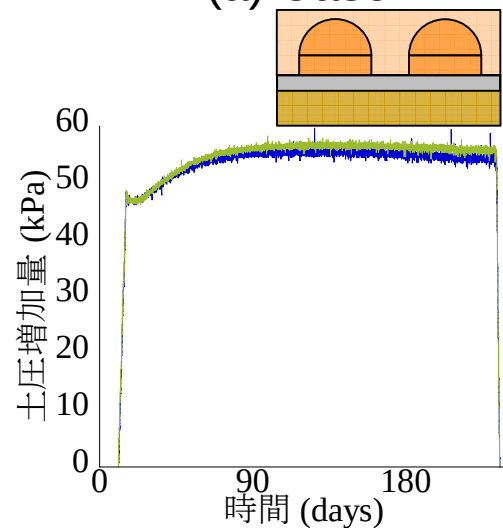
◆ 土圧推移



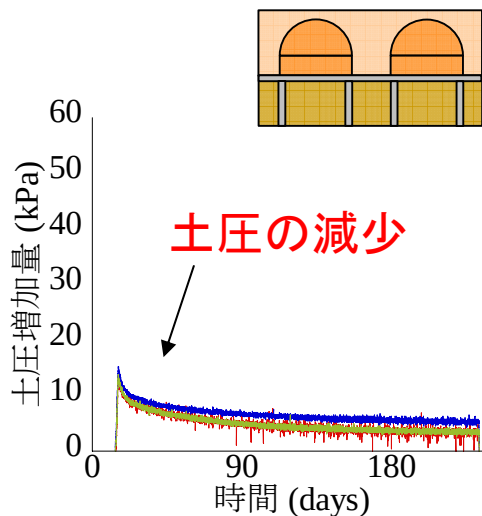
(a) Case1



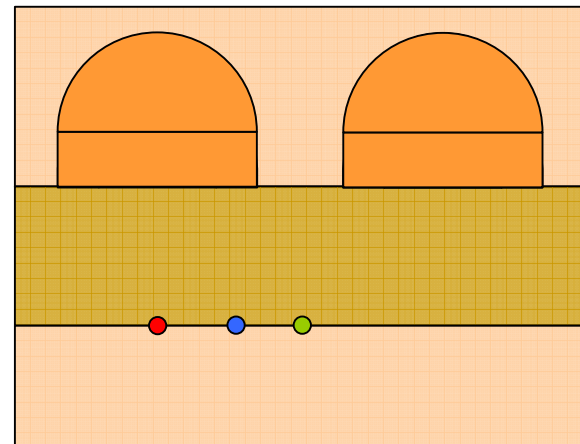
(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4



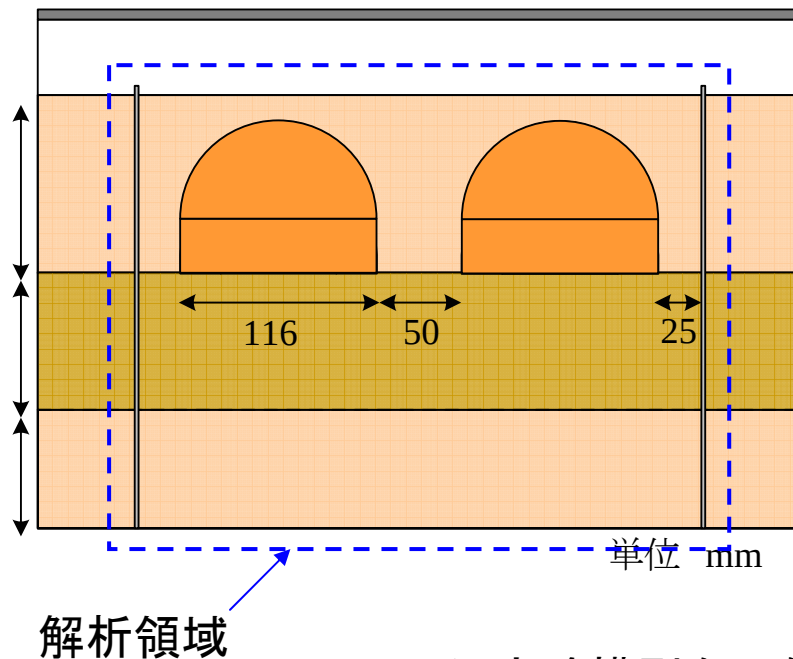
◆ Case1～Case3では
圧密の進行に伴って土圧上昇

◆ Case4では盛土による荷重の
支持が深層混合処理部に移行

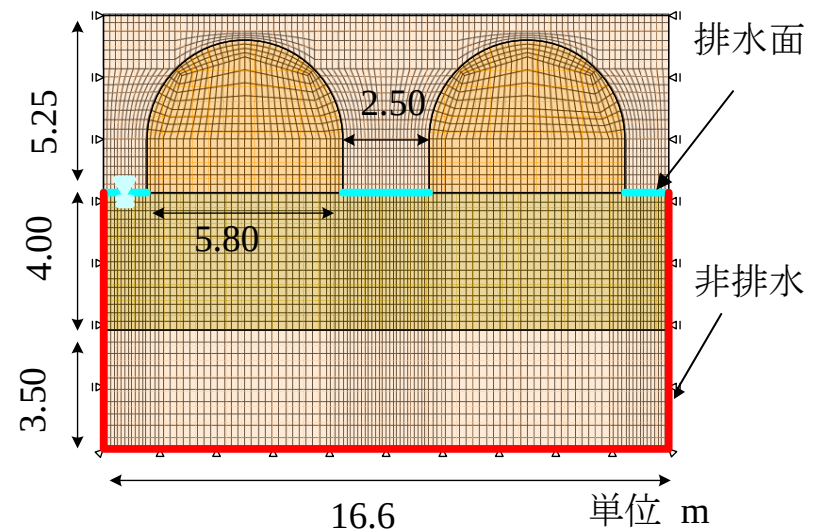
➡ 粘土地盤の負担減少

3.1 数値解析

—解析領域—



50倍

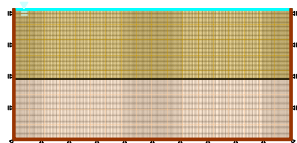


- ◆ 実験模型を50倍(50Gの相似則)の寸法で表現
- ◆ カルバート模型, 盛土は全節点で排水点とした
- ◆ 地盤改良部分, カルバート模型は弾性とした
- ◆ 今回の数値解析では, 盛土を瞬間的に載荷

3.2 数値解析

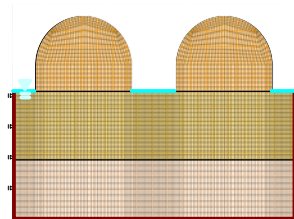
—解析手順—

1. 初期応力設定



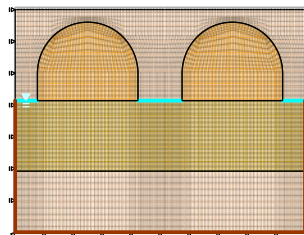
- ◆ 初期応力を自重応力状態より求め、入力する

2. カルバート模型設置



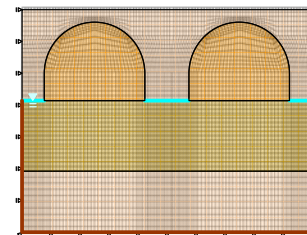
- ◆ カルバート模型
($\gamma = 4.41 \text{ kN/m}^3$)
50Steps, $T = 0.02 \text{ s}$

3. 盛土



- ◆ 盛土
($\gamma = 16.0 \text{ kN/m}^3$)
200Steps, $T = 0.005 \text{ s}$

4. 圧密解析



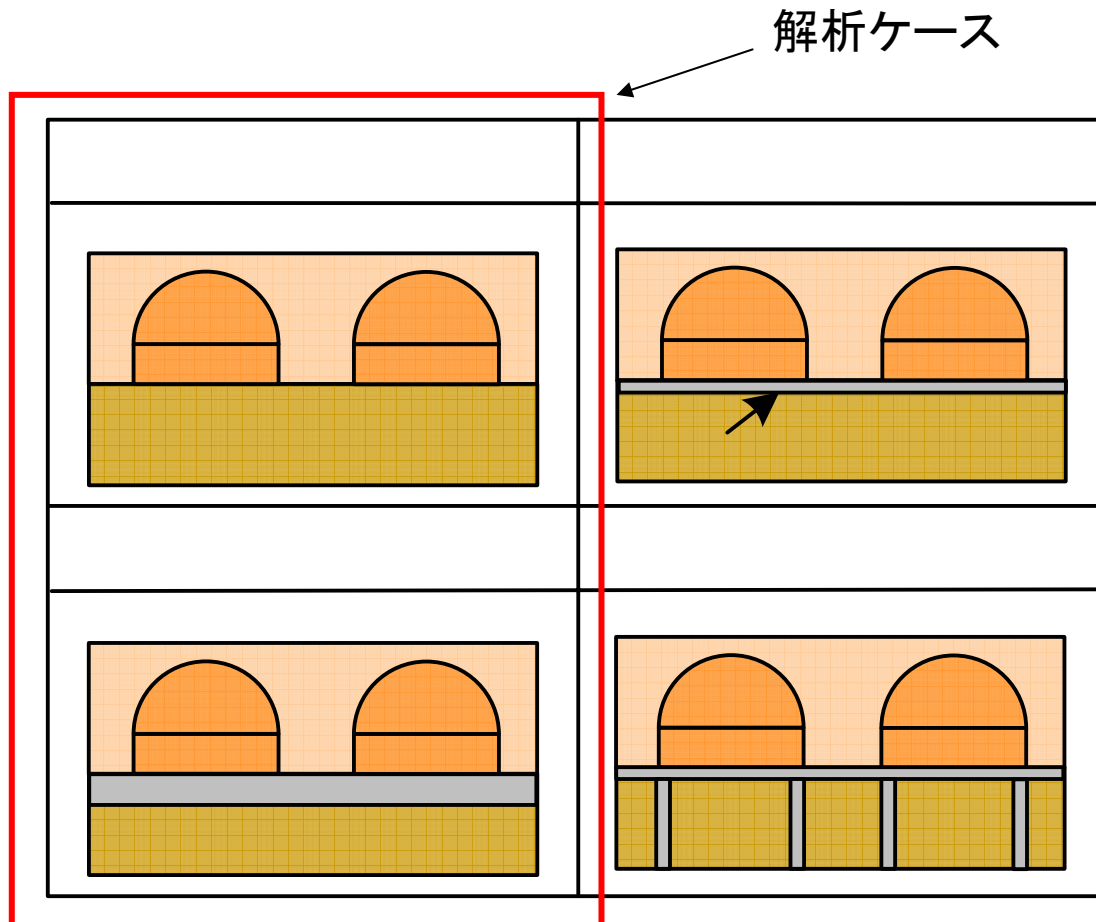
- ◆ 11stageに分けて208日間にわたり圧密解析を行う

3.3 材料定数

	支持層	粘土層	アーチカルバート	盛土	浅層混合	深層混合
モデル	Elastic	Subloading tij	Elastic	Subloading tij	Elastic	Elastic
γ (kN/m ³)	19.89	17.55	4.41	16.00	16.86	17.05
E (kN/m ²)	84000	6180	1.0e7	28000	44800	2.24e5
I _p	-	16.81	-	-	-	-
M _f	-	3.21	-	-	-	-
ν	0.333	0.338	0.333	0.333	0.300	0.300
K ₀	0.500	0.510	0.500	0.500	0.500	0.500
e ₀	—	1.15	-	0.62	-	-
β	-	500	-	500	-	-
a	-	1.5	-	2.0	-	-
P _c ' (kN/m ³)	-	40.0	-	140.0	-	-
λ	-	0.134	-	0.07	-	-
κ	-	0.0161	-	0.0045	-	-
k (kN/m ³)	1.0e-5	3.48e-8	-	-	1.0e-5	1.0e-5

3.4 数値解析

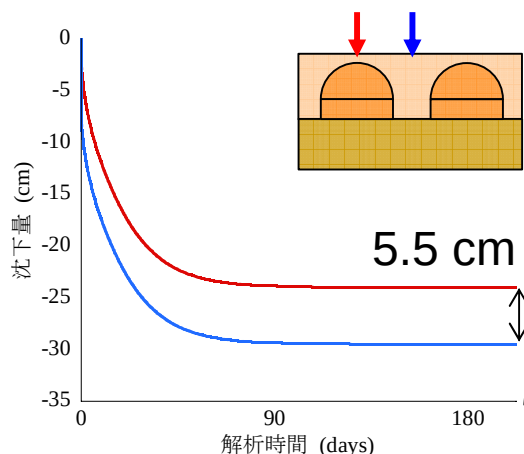
—解析ケース—



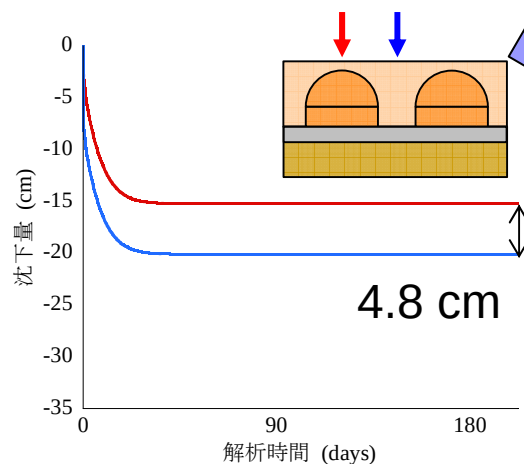
3.5 数値解析

— 沈下 —

◆ 沈下量時間推移



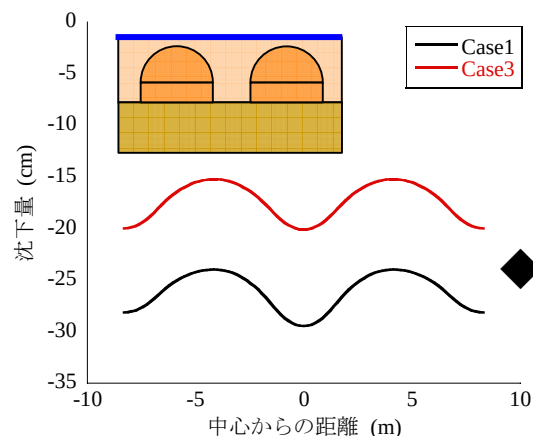
(a) Case1



(b) Case3

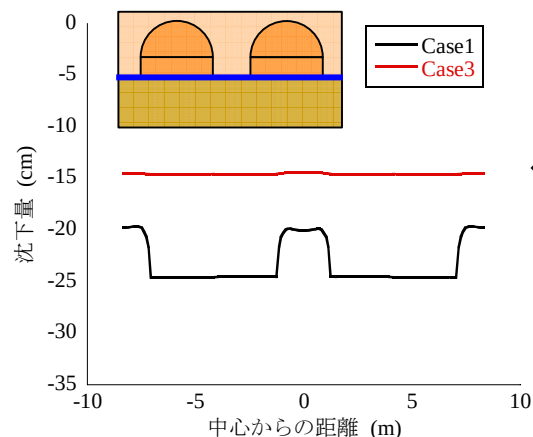
◆ 盛土=弾性体の
場合と同様、盛
土の沈下が全
体的に減少

◆ 沈下分布



(a) 盛土天端

◆ 盛土天端の形状に
差異は顕著では無い



(b) 粘土層表面

◆ 浅層混合処理

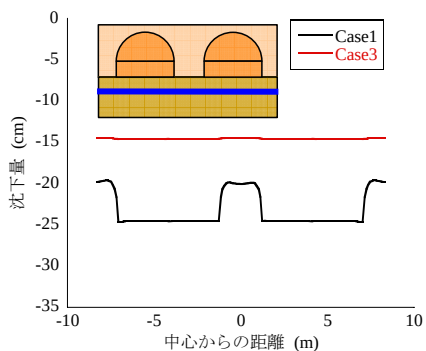
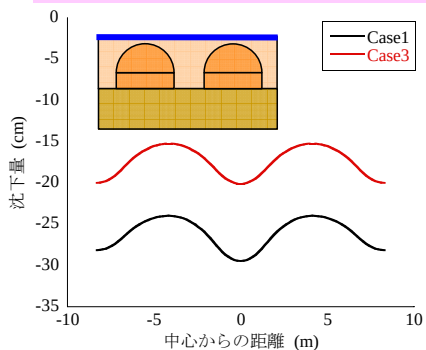


粘土層表面が安定

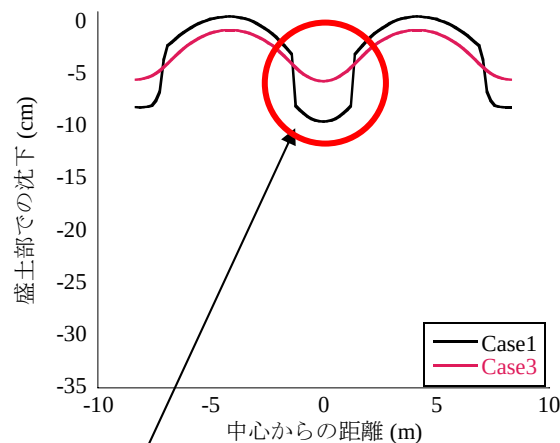
3.6 数値解析

—沈下—

◆ 盛土部分の評価



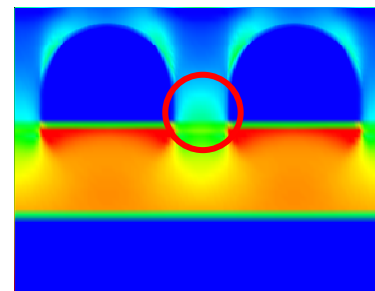
差分



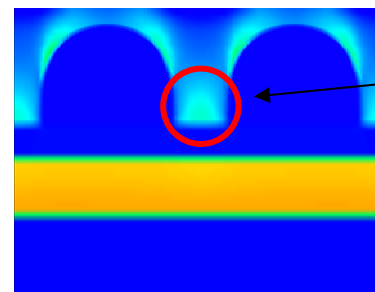
◆ 浅層混合処理

盛土部分での不同沈下が減少

◆ STRAIN y



(a) Case1



(b) Case3

基礎地盤が
平面であるが、
圧縮が発生

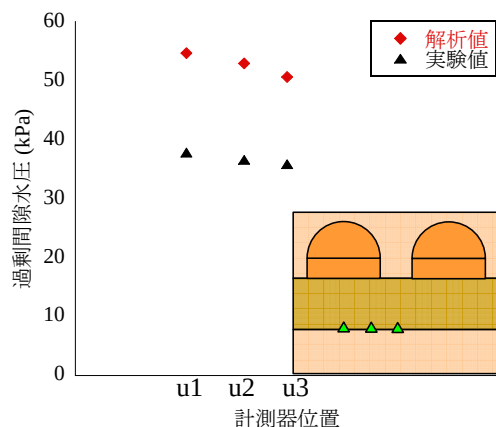
◆ 盛土部分での沈下

盛土を段々に積まず、1度に
積んだため、圧縮が現れたと
考えられる

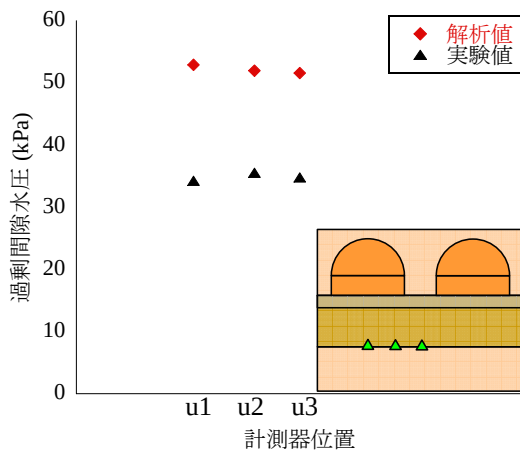
3.7 数值解析

—応力状態—

◆ 最大過剰間隙水圧(盛土直後)



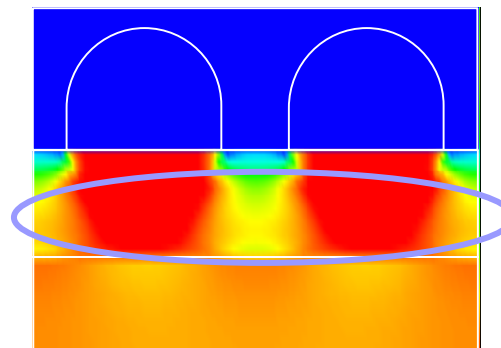
(a) Case1



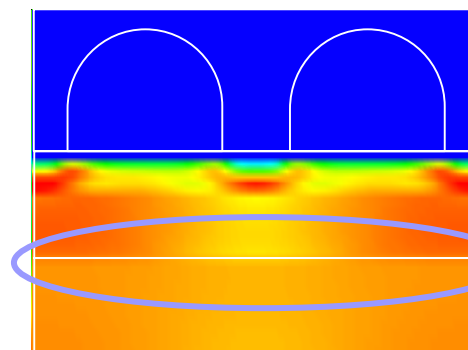
(b) Case3

◆ 傾向は類似だが
解析値の方が
全体的に大

◆ 鉛直応力分布(盛土直後)



(a) Case1



(b) Case3

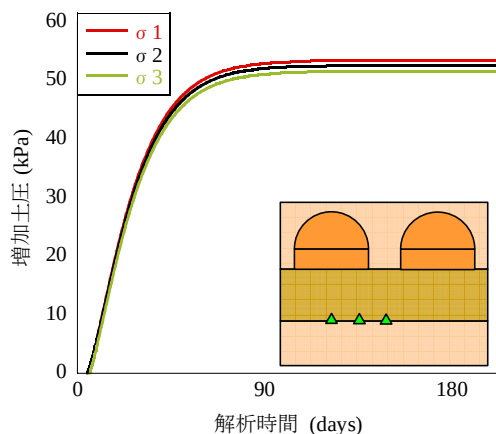
◆ 盛土による過剰間
隙水圧が緩和, 均
等化



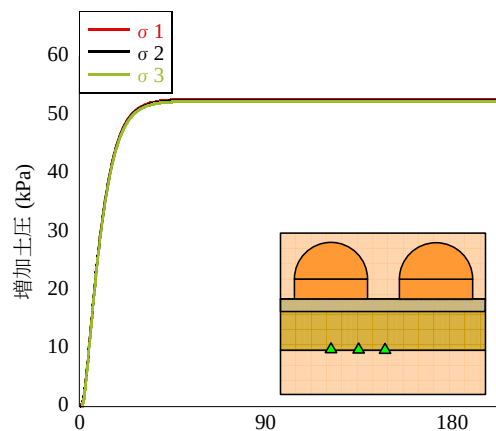
3.8 数値解析

—解析ケース—

◆ 鉛直土圧推移

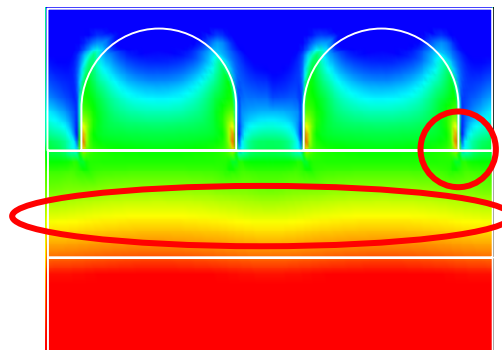


◆ $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$
実験結果と逆
の傾向

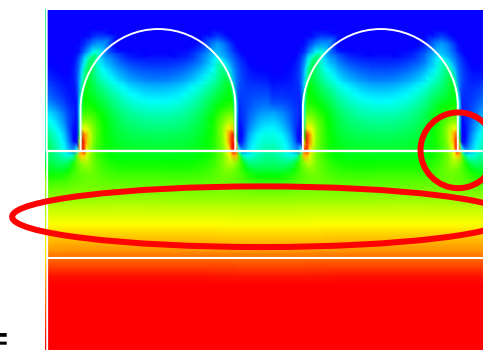


◆ $\sigma_1 \div \sigma_2 \div \sigma_3$
実験結果と同程度

◆ 鉛直応力分布(圧密後)



◆ 脚部の鉛直応力が
増加(基礎地盤に
よる地盤反力)



◆ 鉛直応力が均等に
分配されている



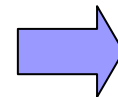
4. まとめ

まとめ

- 浅層混合処理工法により、アーチカルバート脚部に生じる応力は大きくなった.
- 浅層混合処理工法を用いると、粘土部分の不同沈下が抑制された.
また、その結果盛土自体の不同沈下を抑えられた.
- 実験より、深層混合処理工法を施すと盛土荷重が粘土地盤に与える影響が減少し、盛土の沈下が非常に抑制された.

今後の課題

- 盛土過程の適切なモデル化
- 施工過程を考慮した解析手法の検討



合理的な改良領域の提案

景観性に優れたアーチカルバートを用いた 盛土構造に関する研究

(米原バイパス9工区の景観検討)

京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻
景域環境計画学分野

教授 川崎 雅史

1. 検討の目的

周辺地域

- 佐和山城遺跡周辺は、歴史的、文化的にも重要な地域
- 古くからの集落や里山の風景も残されている

米原バイパスと連続アーチカルバート

- 周辺景観に与える影響が比較的大きい。特に、佐和山周辺の連続アーチカルバートのデザイン検討は重要
- 連続アーチカルバートに関して、国内での景観デザインの検討事例は少ない



佐和山周辺の景観と調和した連続アーチカルバートのデザイン検討を行う



新幹線から見た佐和山町集落と背後の山並み



佐和山町の集落

2. 検討対象区間



位置図



検討対象区間



多連アーチカルバート（基本イメージ）

3. 地域特性

佐和山城跡

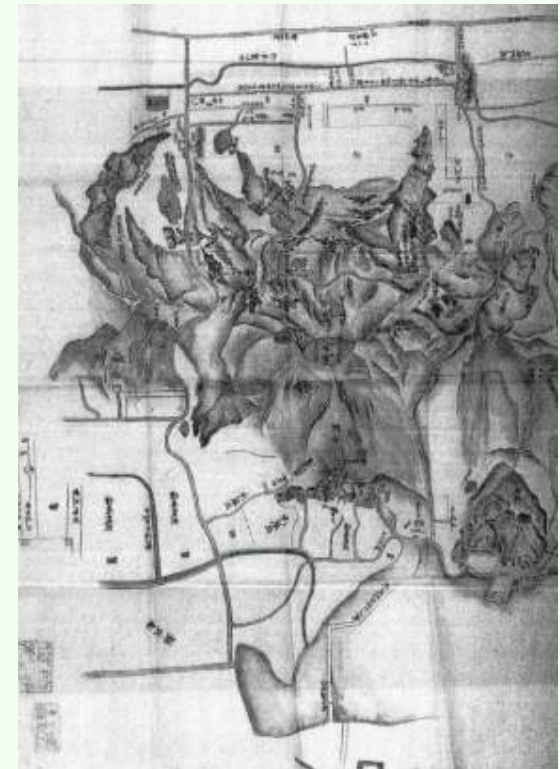
- 戦国時代に築かれた山城。築城当時は、周辺諸城の中でも中心的存在。豊臣秀吉が没した翌年、石田三成が5層の天守をもつ城に修築し、居城とした。
- 関が原の合戦後、落城。彦根城の築城に伴い解体され、その後、廃城となる。
- 現在、残されている遺構は、少数の石垣と瓦程度。ただし、城の大手門跡とされる土塁が小野川の近くに残っており、重要な史跡とされる。
- 現在、山頂までのハイキングコースが整備され、山頂から彦根城や琵琶湖を一望することができる。(佐和山自体は民有地)



佐和山遠景



本丸の石垣
(彦根市立図書館、『佐和山城址』より)



佐和山城絵図
(彦根城博物館蔵)

3. 地域特性

土塁

- 佐和山城の大手門跡。高さ2m、基底幅13m、天端幅8m、延長165m。



現在の土塁

3. 地域特性

鳥居本宿場町

- 中山道六十九次のうち、江戸から63番目の宿場町
- 多賀大社の鳥居があったことが名前の由来とされる



現在の鳥居本宿場町

3. 地域特性

佐和山隧道（土木学会選奨土木遺産）

- 滋賀県の土木技師、村田鶴の設計(1924)
- 現在は廃道だが、坑口周辺の意匠は今でも確認できる
- 佐和山隧道以外にも村田鶴が関わったとされる隧道が残されている

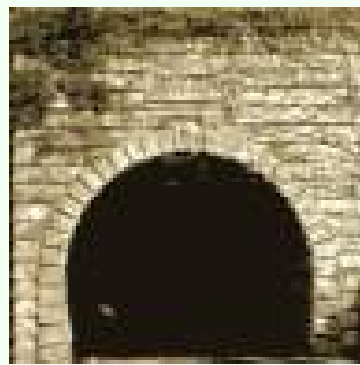


佐和山隧道
(平沼、永富、『廃道本』より)

滋賀県内の旧隧道



谷坂隧道



観音坂隧道



鈴鹿隧道

3. 地域特性

鳥居本駅舎（土木学会選奨土木遺産）

● 近江鉄道の駅舎



鳥居本駅舎

4. 周辺景観



a) 佐和山町の集落



b) 佐和山城の土塁跡



c) 小野川親水護岸



c) 小野川親水護岸



d) 新幹線から見る佐和山町集落と背後の山なみ

山並み 里 山	佐和山と弁天山がなだらかに続く 里山の景観
田 園	佐和山， 弁天山と新幹線に挟まれた 田園
集 落	佐和山町や内町の集落の町並み
水 辺	集落と山の間に流れる小野川とその 親水護岸
土 塁	小野川に面する佐和山城の土塁跡
鉄 塔	集落と山の間には送電鉄塔が立ち並び 景観阻害要素となっている

5. 主な視点場

① 新幹線

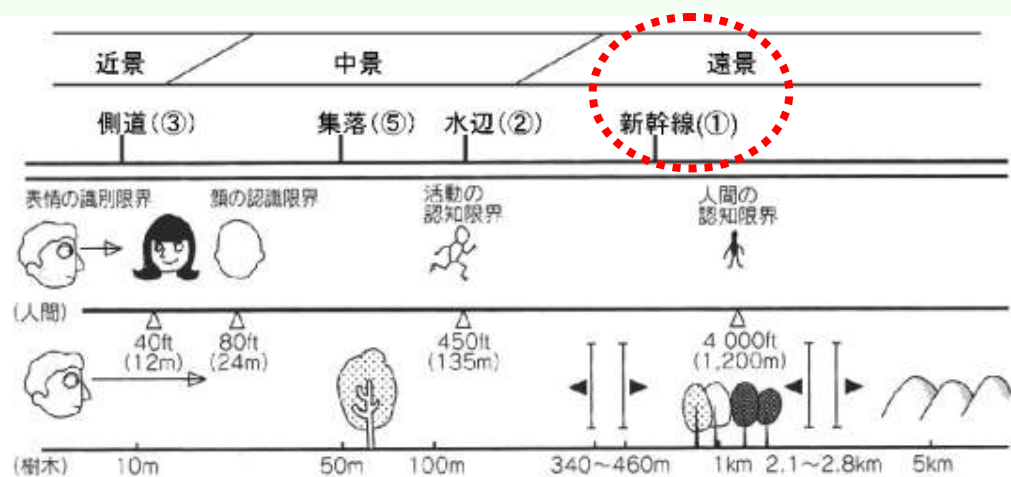
② 小野川・親水護岸

③ 佐和山登山道入口(側道近傍)

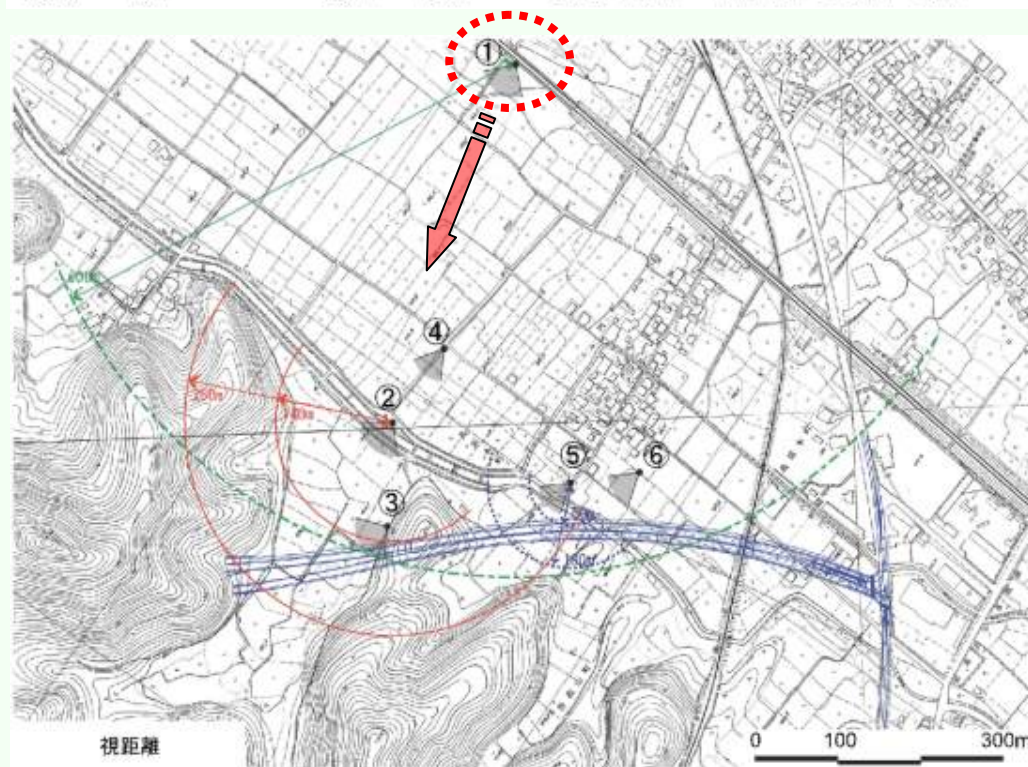
④ 田んぼ(新幹線と小野川の間地点)

⑤ 佐和山町集落

⑥ 田んぼ(佐和山町集落南側)



①新幹線高架付近から望む



5. 主な視点場

① 新幹線

② 小野川・親水護岸

③ 佐和山登山道入口(側道近傍)

④ 田んぼ(新幹線と小野川の間地点)

⑤ 佐和山町集落

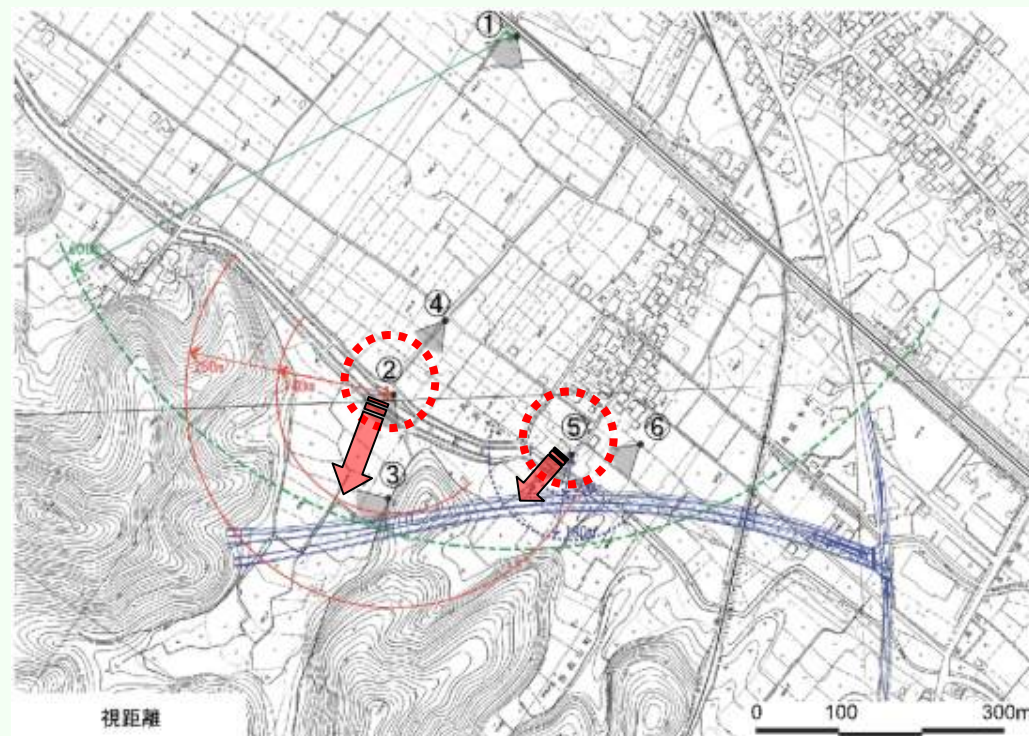
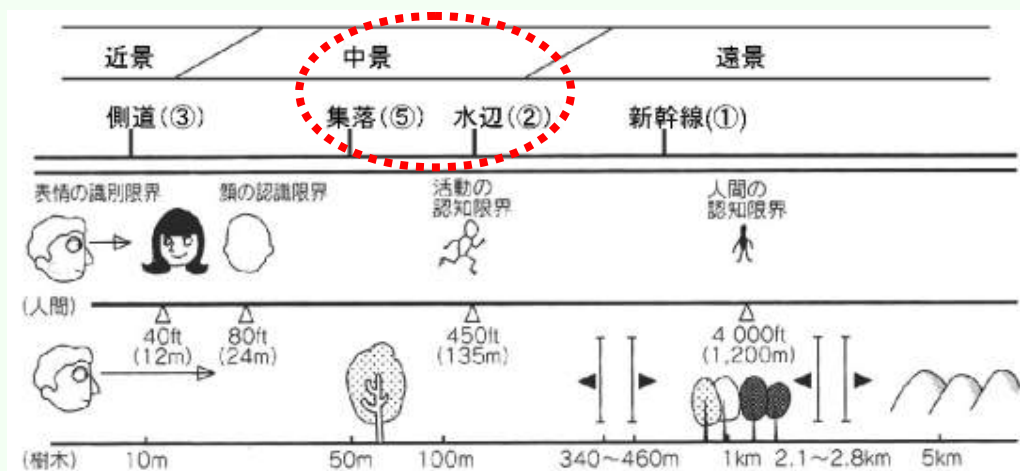
⑥ 田んぼ(佐和山町集落南側)



②小野川親水護岸より

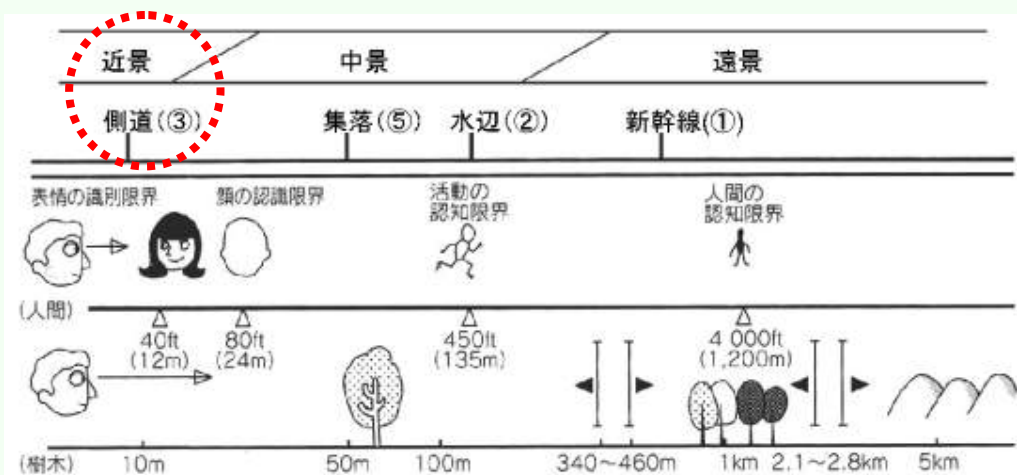


⑤佐和山町の通り西端より

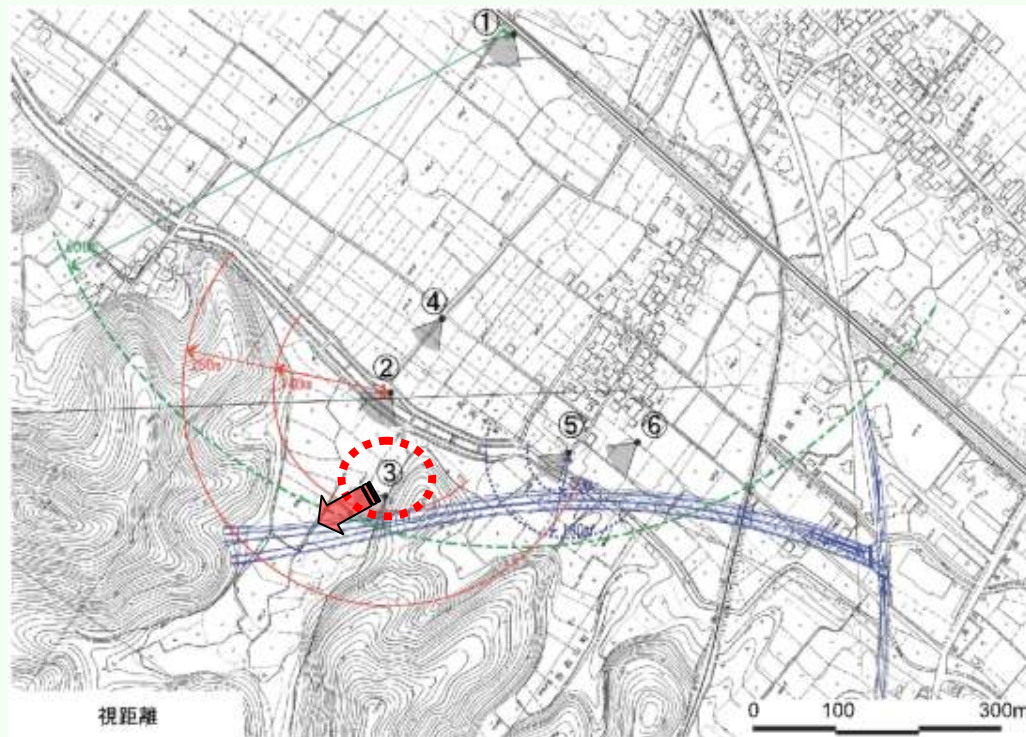


5. 主な視点場

- ① 新幹線
- ② 小野川・親水護岸
- ③ 佐和山登山道入口(側道近傍)
- ④ 田んぼ(新幹線と小野川の間地点)
- ⑤ 佐和山町集落
- ⑥ 田んぼ(佐和山町集落南側)



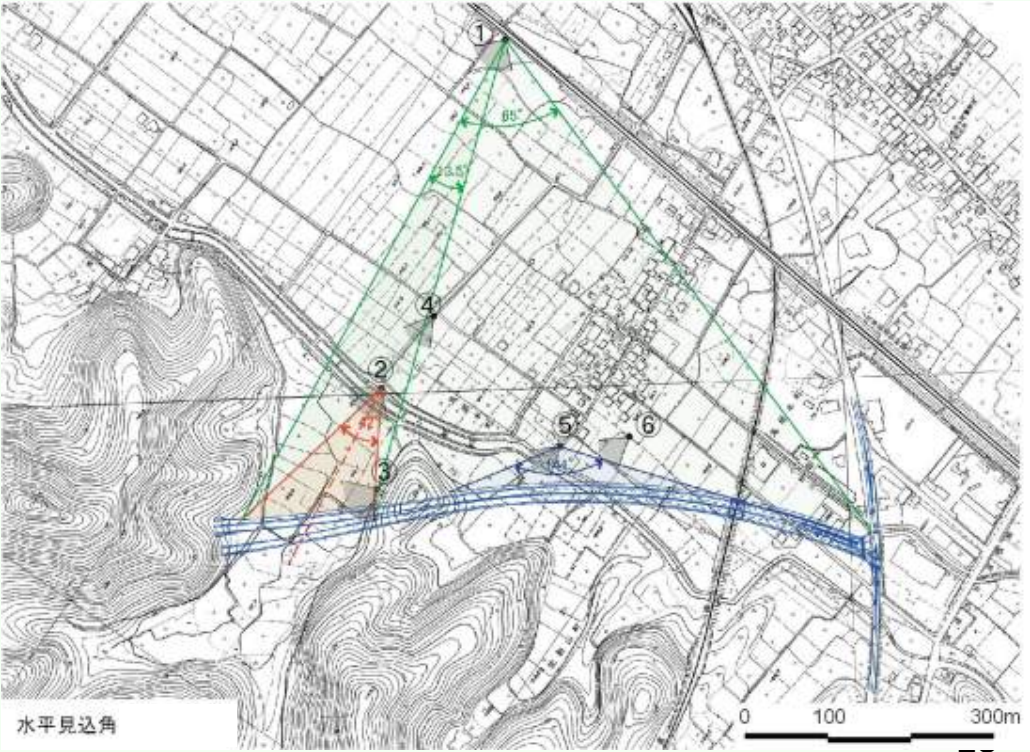
③佐和山登山道入口(カルバート建設地付近)より



5. 主な視点場

水平見込角

視点場	水平見込角	見え方
①新幹線	～65° 程度	視野の中で水平方向に比較的広い範囲を占める。しかし、遠景であること、および、切土する山や集落に隠れるため、大きな存在感としては知覚されない。
	14° 程度	手前に障害物はないが、水平見込角が小さいため、大きな存在感としては知覚されない。
②親水護岸	42° 程度	水平方向に比較的広い範囲を占める。中景となるため存在感はやや大きくなる。
⑤集落	141° 程度	視野に収まらず、かつ、近景として眺められるため、大きな存在感として知覚される。

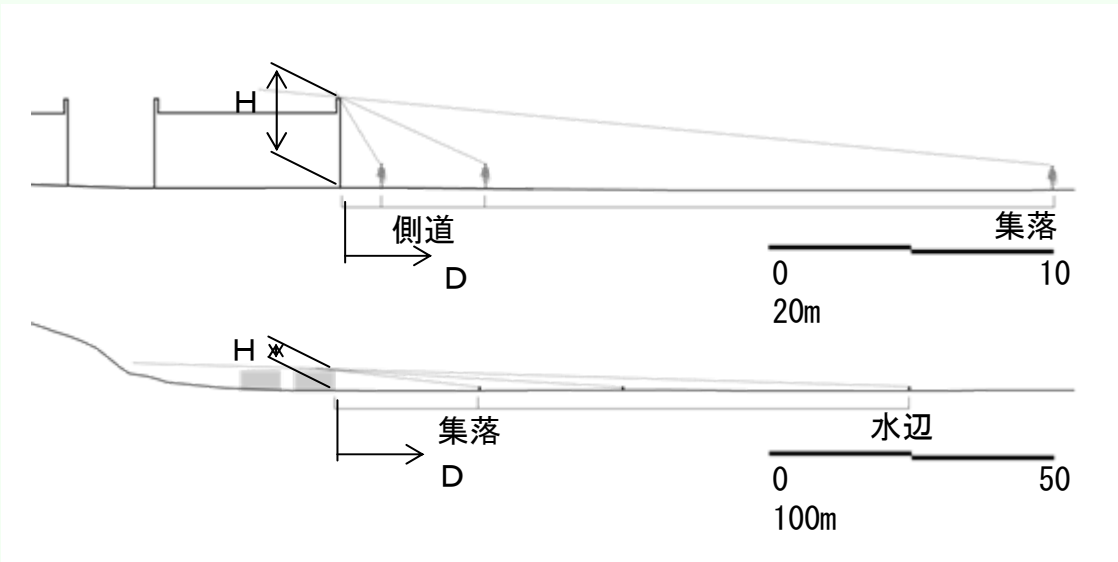


<参考>

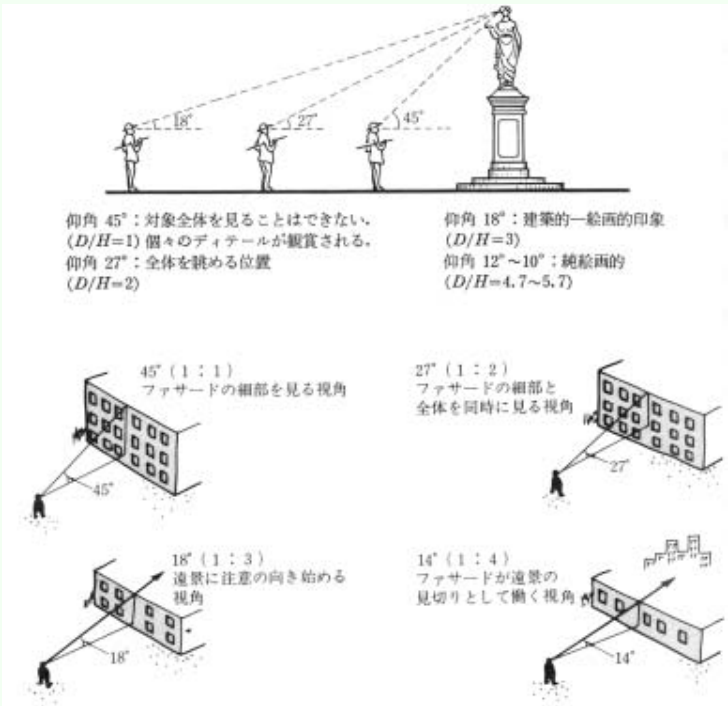
- 人間の視野角: 約60°
- 水平見込角が10° 以下の場合、主対象とはならない。

5. 主な視点場

D/Hによる見え方、圧迫感



アーチカルバートの高さ(H)と距離(D)



メルテンスの法則

視点場	D/H	見え方
③側道	2以下	距離10m以下となる側道からは、対象全体を一度に見ることができず、むしろ細部が鑑賞される
⑤集落	約8	約50m離れた集落からは、「対象は背景と一体化し環境の一部となる」 D/H=4よりも大きく、圧迫感も小さい
②水辺	約32	200m離れた水辺からは、D/Hは約32であり、圧迫感は感じられない

6. 景観デザインの方針

目指すべき方向性

- 佐和山の歴史性・文化性の継承
- 里山の風景、佐和山の山並みとの調和
- 側道への圧迫感や集落へのインパクトの軽減
- バイパス建設による空間分断の影響の軽減
- 工業製品のイメージを避け、まるで以前からあったような自然な存在感

「地域の歴史と文化の中に築かれる、
100年後の風景とも調和する道」

表現されるかたち

- 安定感と落ち着いた佇まいをもちながらも、他の場所にはないデザインの固有性
- 穏やかな山並みと調和する柔らかな印象の連続アーチ
- 遠景・中景ではシルエットの美しさを、近景ではディテールの美しさを表現
- 東西の空間を可能な限り分断しない広い開口の確保
- 丁寧なディテールに込められた温かさともものづくりへのこだわり

7. デザイン検討

景観デザインの方針



内部空間とアーチの形状



アーチカルバートの配置



側壁の基本形状



壁面のデザイン



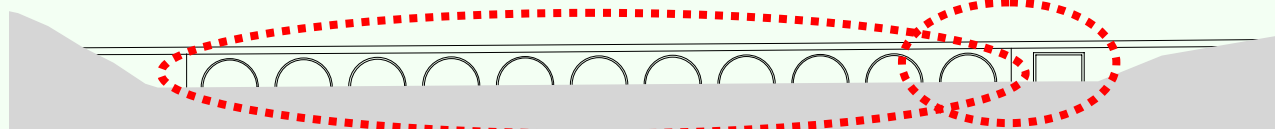
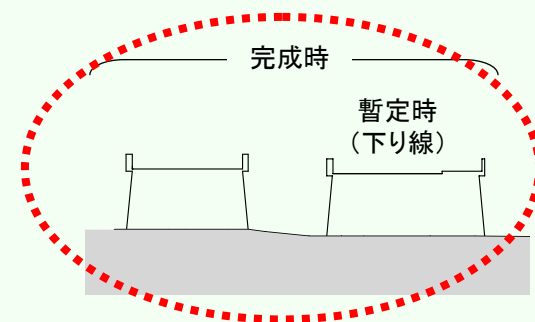
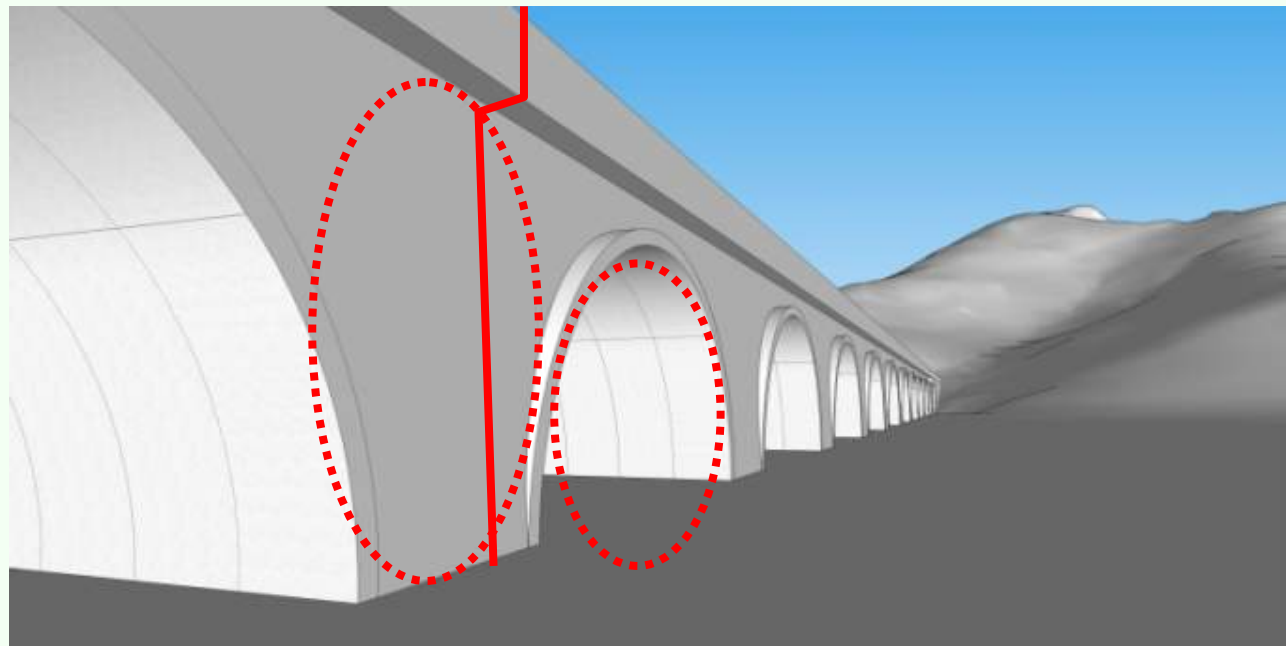
暫定時と完成時



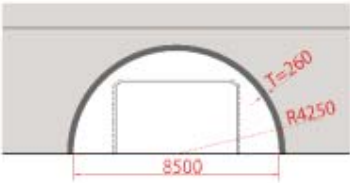
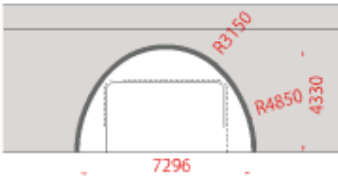
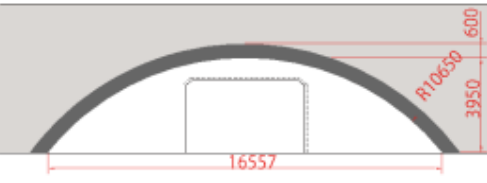
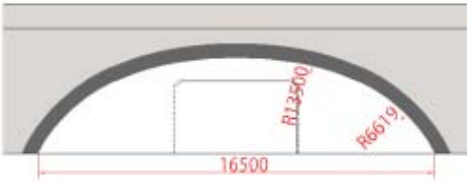
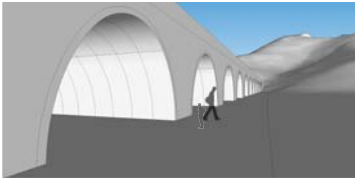
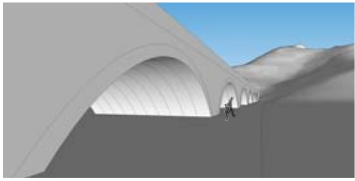
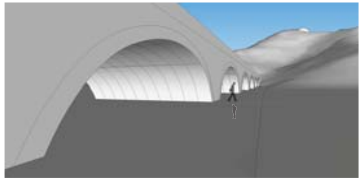
その他(アーチカルバートとBOXカルバートの隣接部)



区間全体の景観デザイン

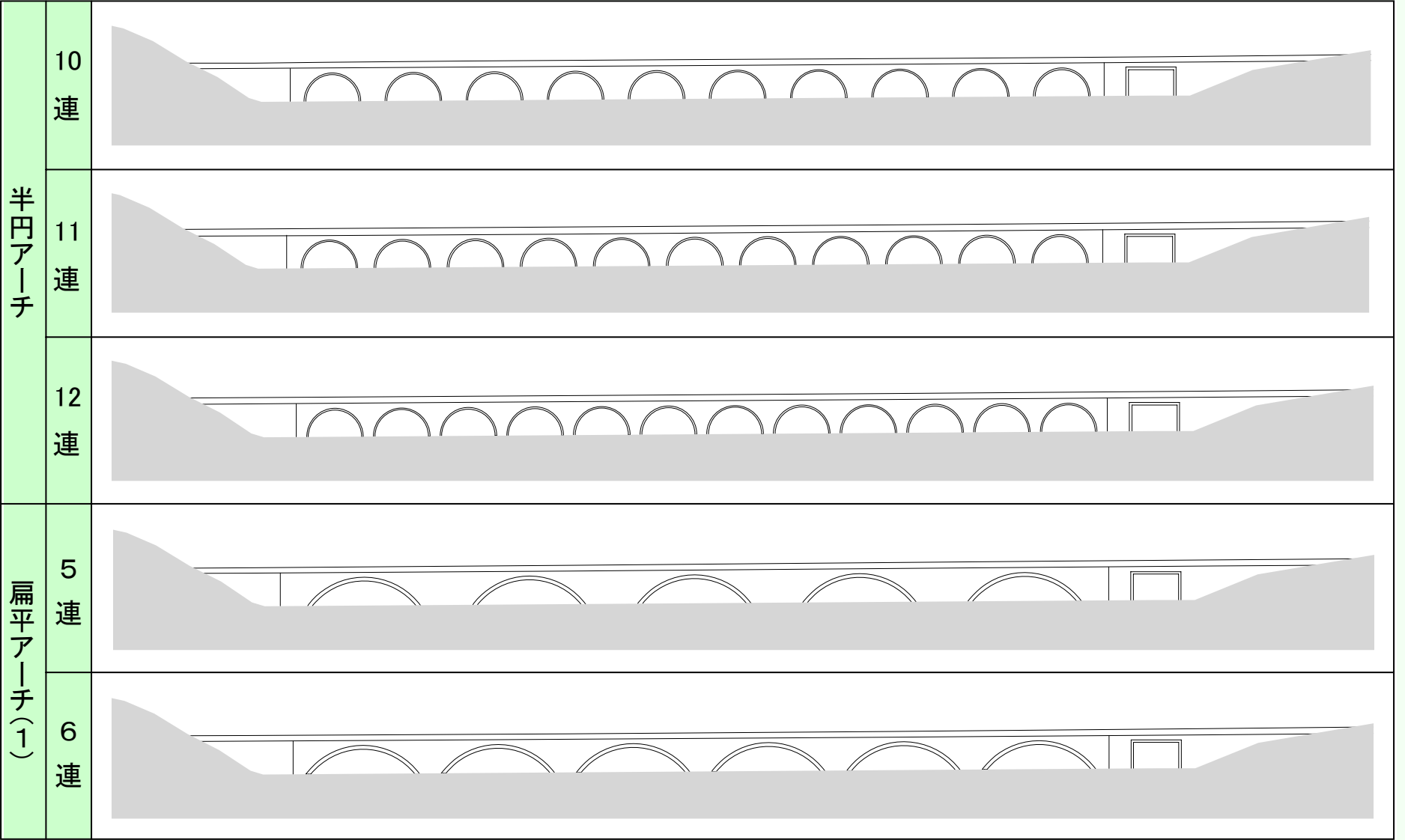


8. 内部空間とアーチの形状

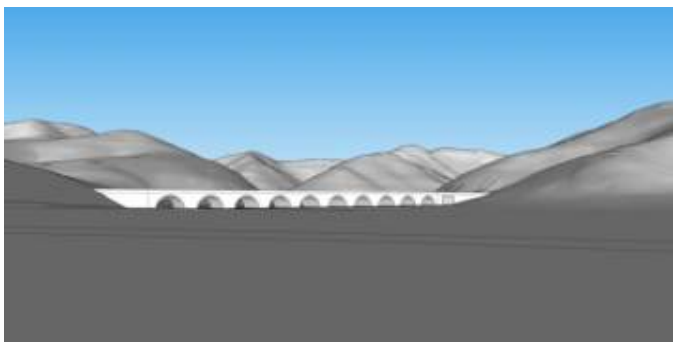
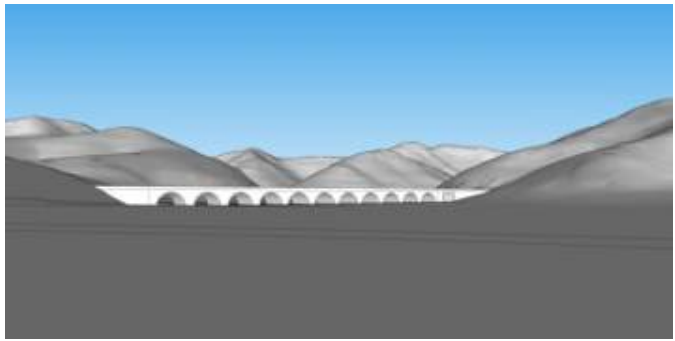
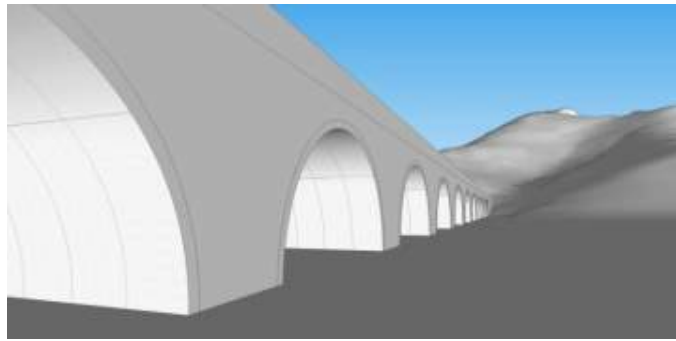
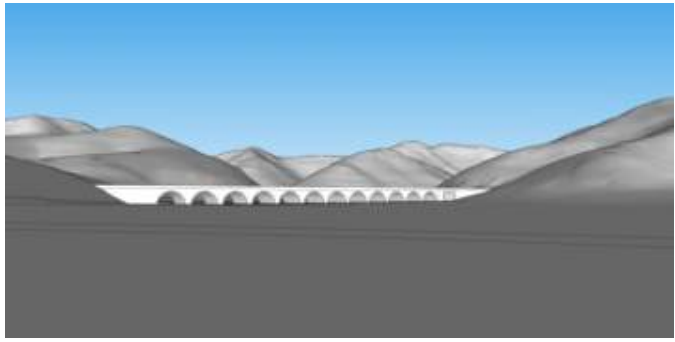
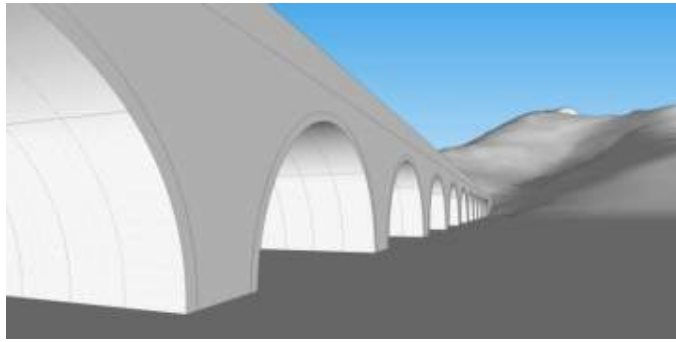
	半円アーチ	山型アーチ	扁平アーチ(1)	扁平アーチ(2)
形状				
内部				
側道				
特徴	・半円アーチで構造的に可能な最大の形状。 ・比較的広い内部空間が確保できる。 ・やや古典的な印象となる。	・3心円アーチによるコンパクトな形状。 ・内部空間が狭い。 ・特徴的な形状だが、必然性はあまりない。	・円弧による扁平アーチ。 ・広い内部空間が確保でき、土地の分断も緩和される。 ・アーチの部材厚はかなり厚くなる。 ・近代的で伸びやかな印象となる。	・3心円アーチによる扁平な形状。 ・内部空間は最大となり、土地の分断も緩和される。 ・アーチの部材厚はかなり厚くなる。 ・やや伸びやかさに欠ける。

▷ 「半円アーチ」と「扁平アーチ(1)」の2パターンで検討

9. アーチカルバートの配置

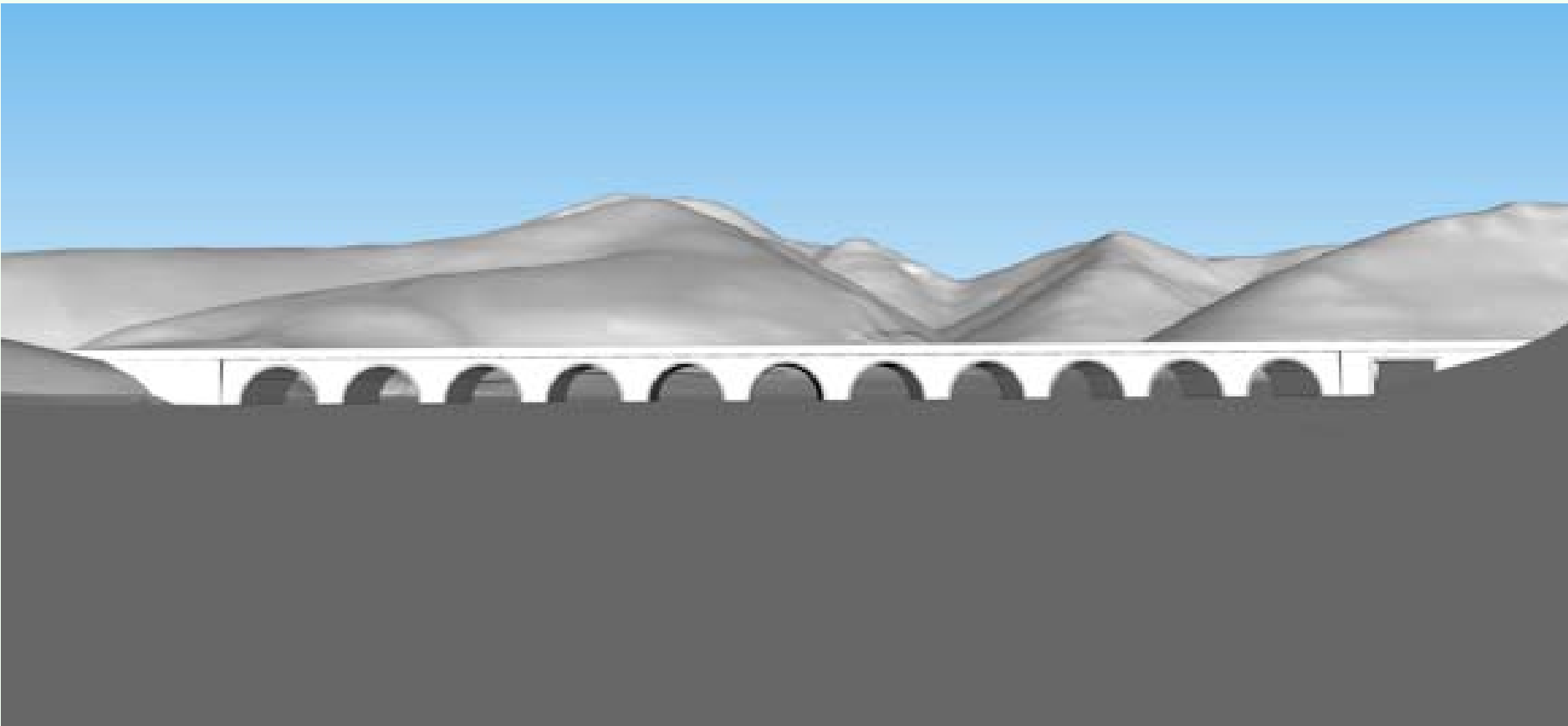


9. アーチカルバートの配置(半円アーチの場合)

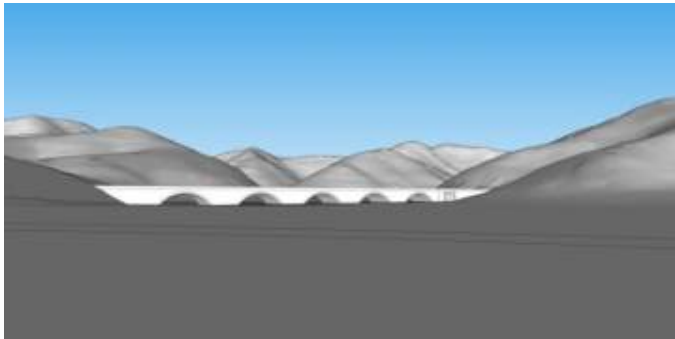
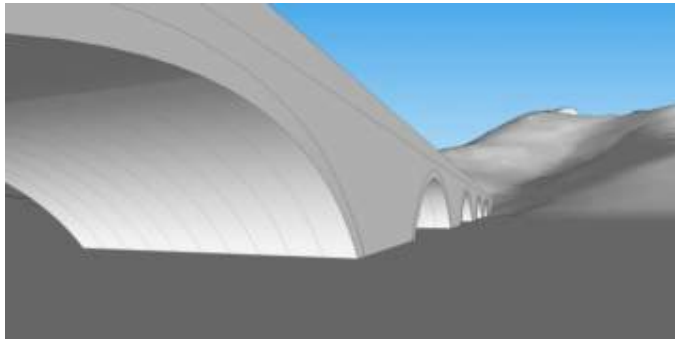
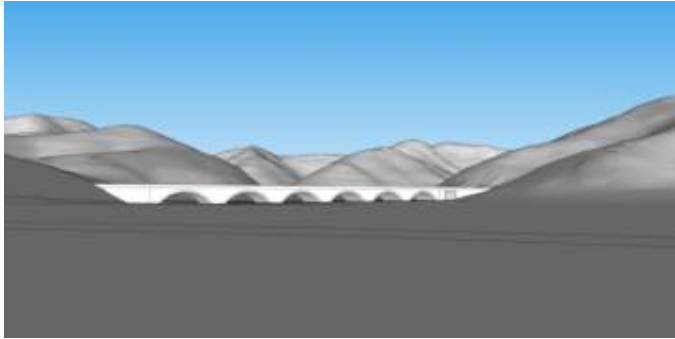
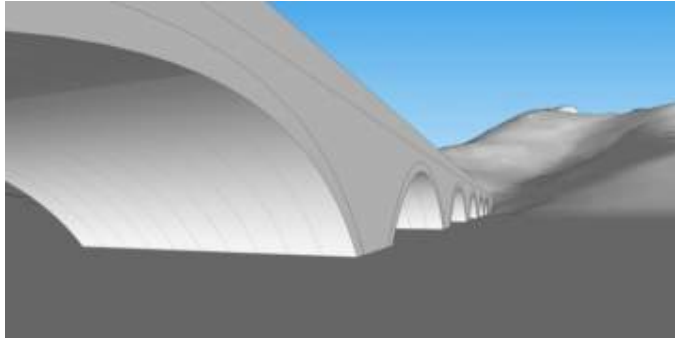
中景(親水護岸)			近景(側道)		
10連		やや疎な感じ	10連		安定感がある反面、壁面が広く、圧迫感を与えやすい
11連		↑ ↓	11連		↑ ↓
12連		やや密な感じ	12連		圧迫感はやや軽減されるものの、足元の細いトップヘビーな印象となる

▷ 半円アーチとしての安定感がありながら壁面の圧迫感の少ない11連アーチで検討

9. アーチカルバートの配置(半円アーチの場合):11連

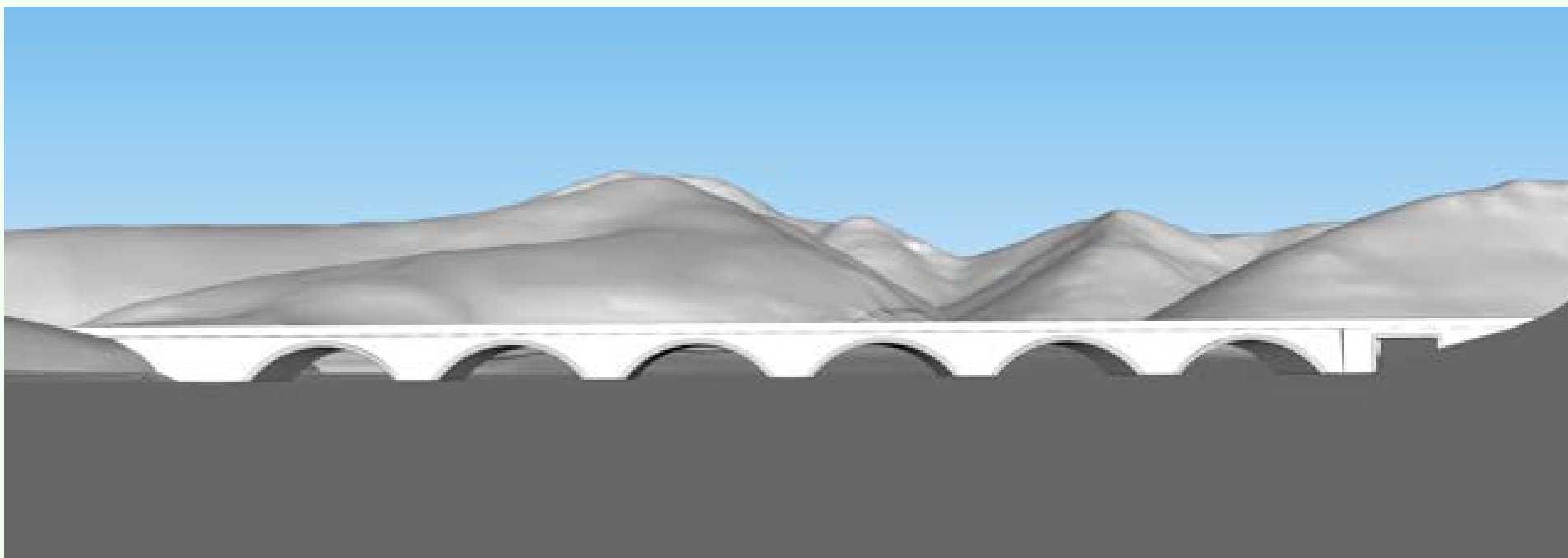


9. アーチカルバートの配置(扁平アーチ(1)の場合)

中景(親水護岸)			近景(側道)		
5連		アーチの伸びやかさが活かされていない	5連		アーチ間隔の広さが目立ち、リズム感がない
6連		伸びやかさとリズム感がある	6連		リズム感がある

▷ 扁平アーチの伸びやかさとリズム感のある6連アーチで検討

9. アーチカルバートの配置(扁平アーチ(1):6連の場合)



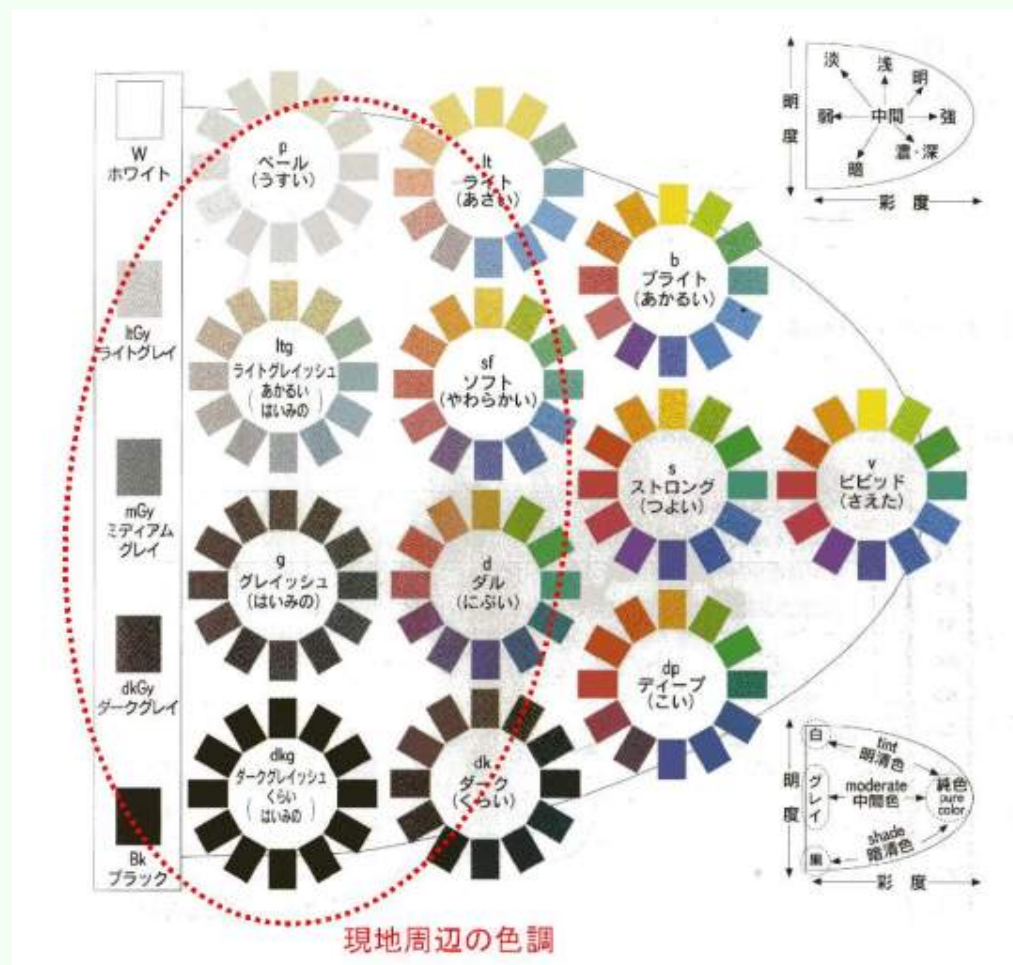
10. 側壁の基本形状

	断面図	近景(側道)	中景(親水護岸)	
直壁型				側面全体が広くなるため、構造物がやや単調に感じられる。
セットバック型				壁高欄の下とアーチカルバート部分に陰影が生じ、側面に表情が出る。
台形型				壁高欄の下とアーチカルバート部分に陰影が生じ、側面に表情が出る。またセットバック型よりも安定感が感じられる。

▷ 近景における側面の表情が豊かで、かつ安定感のある台形型で検討

11. 色彩検討

- 自然豊かな里山の風景には、高彩度のトーンは少なく、低彩度が基調をなす。
- 明度が高すぎると、周囲との対比によりカルバートの存在が強調されるため、あまり明度を高くし過ぎない方がよい。
- ただし、アーチ内部は安全性の観点からも高明度が望ましく、プレキャストコンクリートの無垢で滑らかな表面のままとするのがよい。



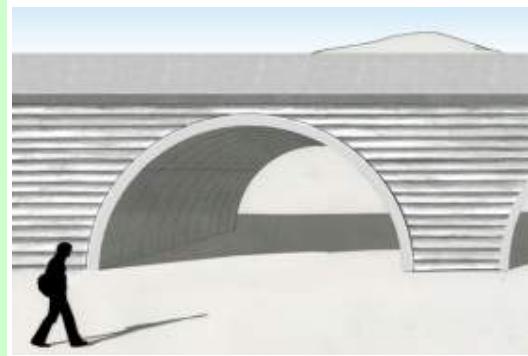
12. 壁面のデザイン

案
1



【素材】
コンクリート
【形態】
レンガ積みのような細かな要素に分割。平滑面と粗面をモザイク状に組み合わせる。
【印象】
明度の異なるものを組み合わせ、表情に深みを出す。

案
4



【素材】
コンクリート
【形態】
下見板張状
【印象】
陰影によって水平方向のラインが強調される。古典的な半円アーチでも、やや近代的なイメージとなる。

案
2



【素材】
コンクリート / レンガタイル
【形態】
柱を細い2本の線で分節
【印象】
分節によってリズム感が強まるが、多連アーチのため過剰な印象にならないように注意が必要。

案
5



【素材】
パネル
【形態】
幅広のレンガタイル模様
【印象】
目地模様がアーチの部材厚より広いと視覚的な安定感が損なわれ中途半端な印象となるため注意が必要

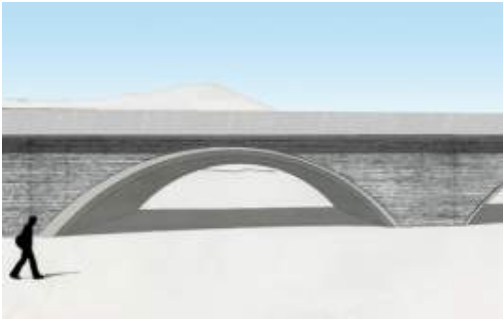
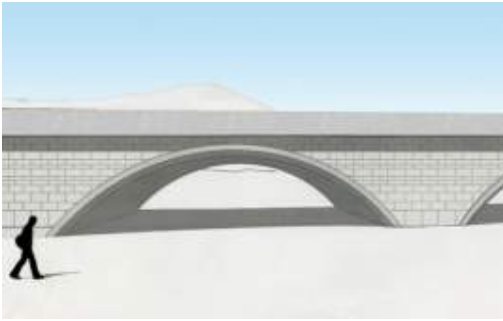
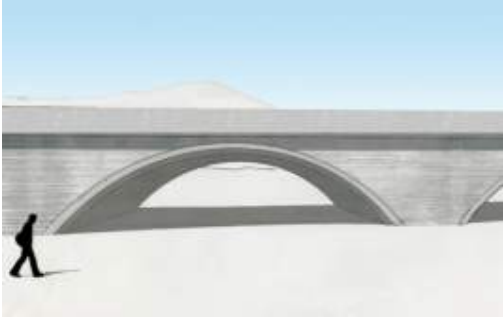
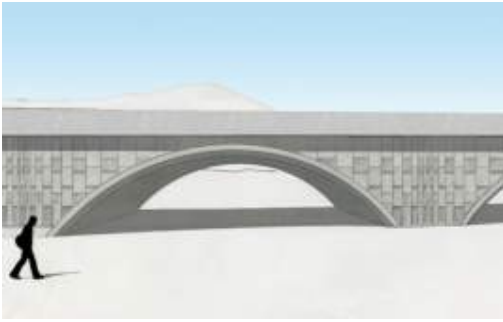
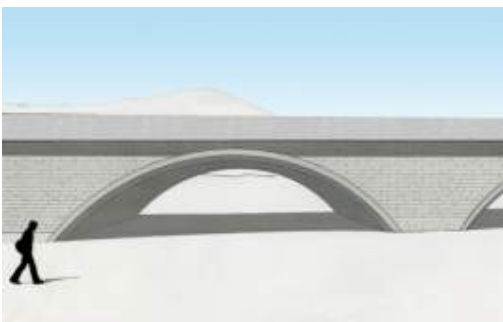
案
3



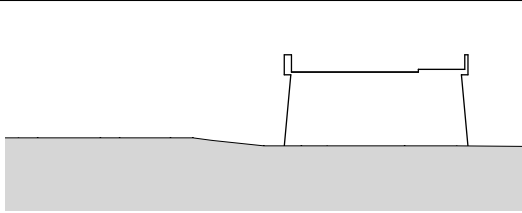
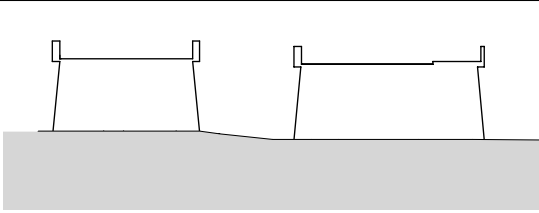
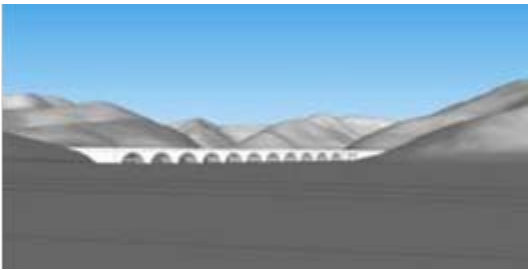
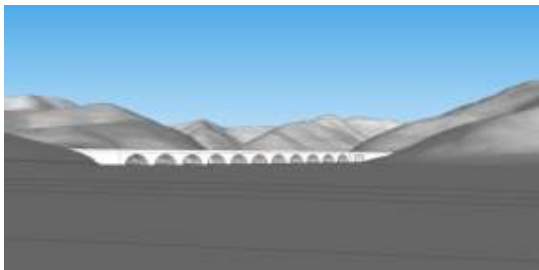
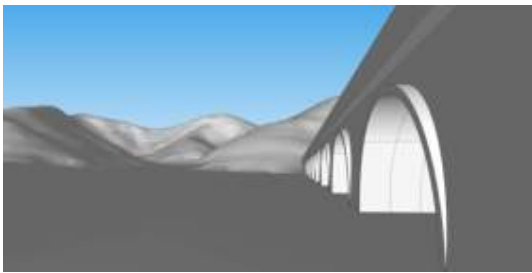
【素材】
コンクリート / レンガタイル
【形態】
柱を太い線で分節
【印象】
細い線で分節するよりも重厚で古典的な印象となる。

▷ シンプル、かつ、表情に深みをもたせることのできる「案1」を選定

12. 壁面のデザイン

案1  【素材】 コンクリート 【形態】 細い水平ラインの凸部を骨材洗い出し仕上げ 【印象】 洗い出しによって表情に深みが出る。水平ラインが扁平アーチの伸びやかさと調和。	案4  【素材】 パネル 【形態】 幅の異なる目地模様のパネルで水平方向のラインを形成 【印象】 変化をつけることで全面パネルの単調さを回避することができる。
案2  【素材】 コンクリート 【形態】 表面に細かな水平ラインの凹凸 【印象】 水平ラインが扁平アーチの伸びやかさと調和。	案5  【素材】 パネル 【形態】 目地模様を縦方向にしたパネル 【印象】 装飾的印象が強く、アーチ形状よりも壁面デザインの方が目立ってしまう。
案3  【素材】 レンガタイル 【形態】 細長いタイル 【印象】 ベーシックで落ち着いた印象	▷ シンプル、かつ、表情に深みをもたせることのできる「案1」を選定

13. 暫定時と完成時

	暫定時	完成時
断面図		
親水公園		
内部空間		
上下線の間		

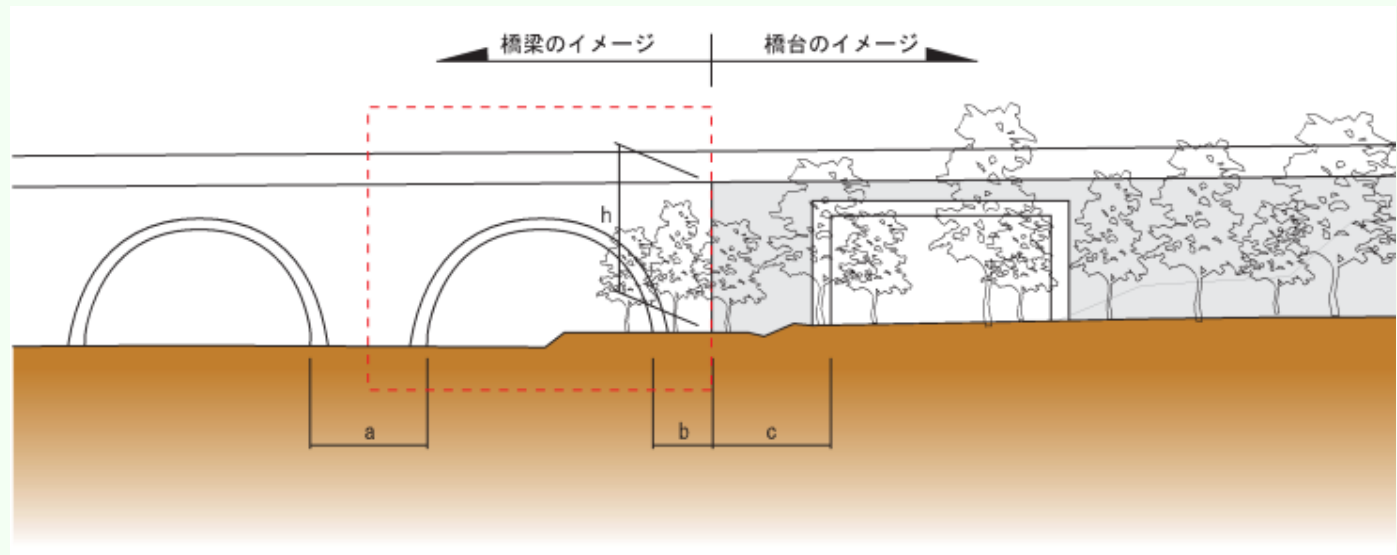
▷ 違いが認識されるのは近景のみ。中景ではほとんど認識されない。

14. その他

アーチカルバートとBOXカルバートの隣接部

BOXカルバート (7000×4000) と
隣接する箇所の違和感をなくす

- アーチカルバート側
▷ 「橋梁」のイメージ
- BOXカルバート側
▷ 「橋台」のイメージ



15. 完成予想パース

半円タイプ



15. 完成予想パース



15. 完成予想パース

半円タイプ



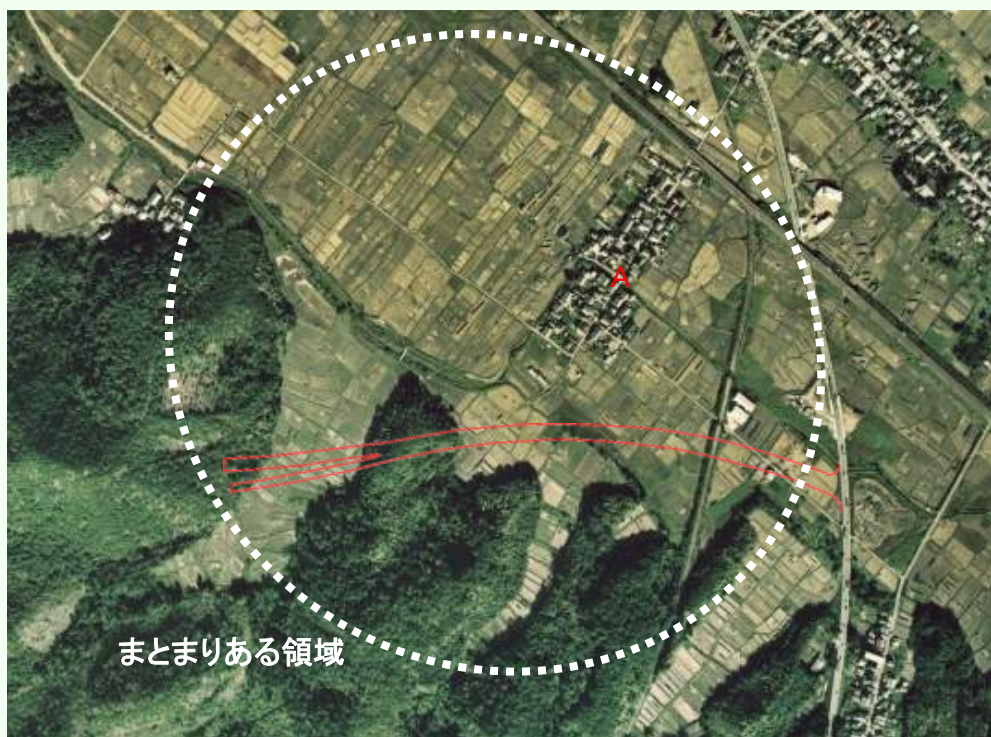
15. 完成予想パース



16. 区間全体の景観デザイン

対象地周辺は、全体としてひとつのまとまりある景観の領域をなしている。

したがって、アーチカルバートのデザインだけではなく、その前後に存在する切土やトンネル坑口、橋梁、アンダーパスなど、区間全体の景観デザインが重要であり、それによって、アーチカルバート自体もさらに魅力を増すものとなる。



17. まとめ

- 新技術である多連アーチカルバートについて、具体的な対象地を想定した景観検討を行った。
- 多連アーチカルバートは、従来の盛土構造に比べて空間の分断が少なく、うまくデザインすれば、景観とも調和しやすい構造といえる。
- しかし、常に調和するということではなく、個々のケースに応じた適切な景観検討がなされなければならない。したがって、標準的なデザインを一律に適用することは慎まなければならない。
- 良い景観とは、個別の対象物に対してというよりも、空間の全体に対して評価されるもの。アーチカルバート単体のデザインだけでなく、前後の道路や関連施設全体に対して適切な景観検討がなされなければならない。
そのような統合された景観の質によって、アーチカルバート単体のデザインの評価が与えられることとなる。