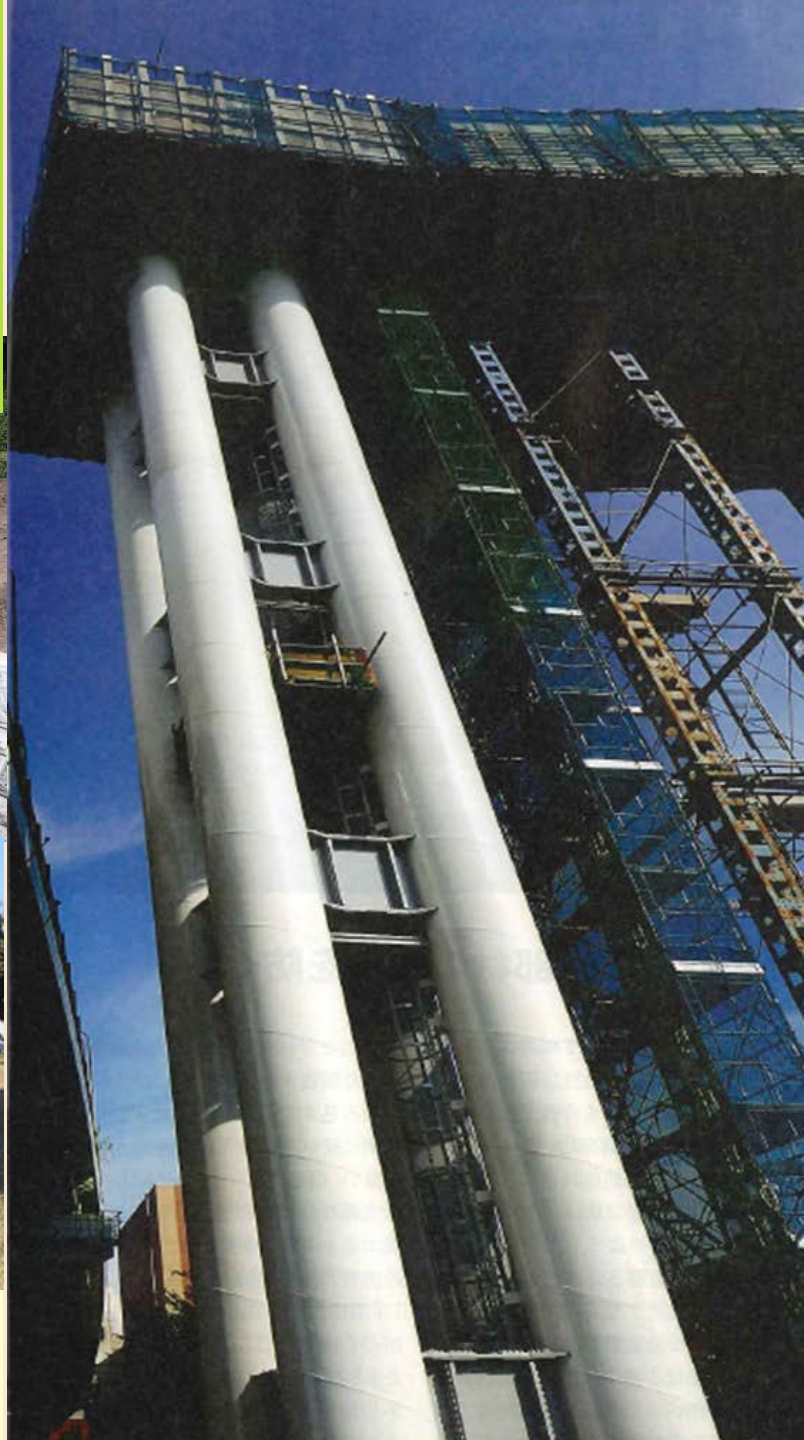


土木学会 若手の会 2016年10月14日

ローテクとハイテクで
土木に新たな世界を



京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻
教授 木村 亮

木村 亮 (まこと) 京都大学大学院 工学研究科 教授

専門：「**土木工学**：地盤工学・基礎工学・トンネル工学」

自慢話：自転車ですべてを**5万キロ**走ったこと、

どんな国にも行けかつ

普通に帰ってくる

学生評：「**鬼軍曹**」

「**天国の閻魔大王**」

座右の銘：「**人生これ綱渡り**」

「**艱難汝を玉にす**」

趣味：**世界の道直し、読書、**

土木遺産見学、日本の映画鑑賞（1946本）、

花を見ながらの山登り、車と自転車の運転



自転車担いで 富士山登頂 (18歳)

人は縦にも
伸びるが、
横にも伸びる
ものだ



サハラ砂漠自転車縦断 地平線に何が見えるか？
大学院を1年間休学（24歳）
冒険家になってもおかしくなかった！



私が常に考えている研究者・技術者としての3つの気概

- 1) 「**新しい発想の技術**」に惚れる心意気を持ち続ける
- 2) 「**面白いものは面白い**」という考え方を大切にする
- 3) 「**誰もやっていない事**」をやる開拓者魂を発揮する

できないことを如何にできるようにするか
答えのない問題を如何に解くか

「**建設の世界は良いものや良い技術が使われる保証がない**」という通念を打破する。

「**3歩進んで2歩下がる**」など喜ばしいことで、
「**3歩進んで5歩下がる**」のが普通である。

理にかなった技術は、必ず使われる

私の研究分野の紹介（発想の転換）

1) 構造物基礎の力学挙動

2) 被りの小さいトンネル掘削時の力学挙動

3) **新しい建設材料・工法の開発と有効利用**

- **ジャケット式基礎、鋼管柱基礎、複合地盤杭基礎（杭基礎）**
- **連結鋼管矢板（鋼管矢板）**
- **モジュラー工法（フレキャストアーチカルバート）**
- **チェーン・ウォール工法、かご丸くん（補強土壁）**

4) **伝統的土木技術の有効利用(社会起業)**

土のうによる道直し → NPO法人 道普請人



最近出会った 私が面白いと思った人

知的プラットフォーム Leave a Nest

リバネス 丸 幸弘

ミドリムシ ユーグレナ

～ PDCA から QPMI へ～

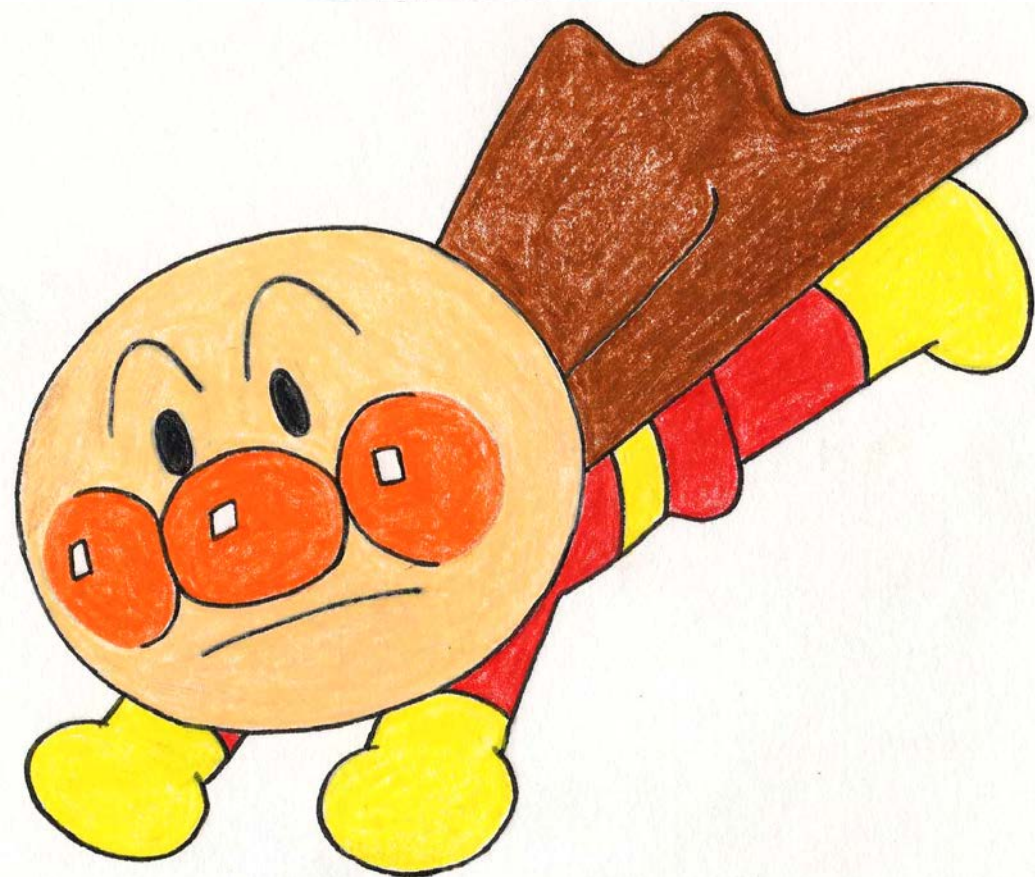
Question → Passion →

Mission → Innovation

国際協力や技術開発

現象の複雑さ

技術者



発想の大転換



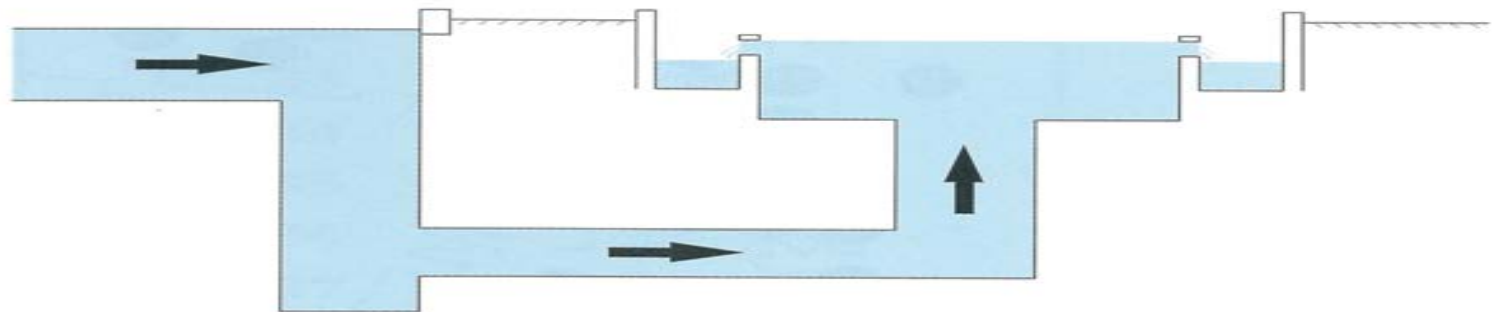
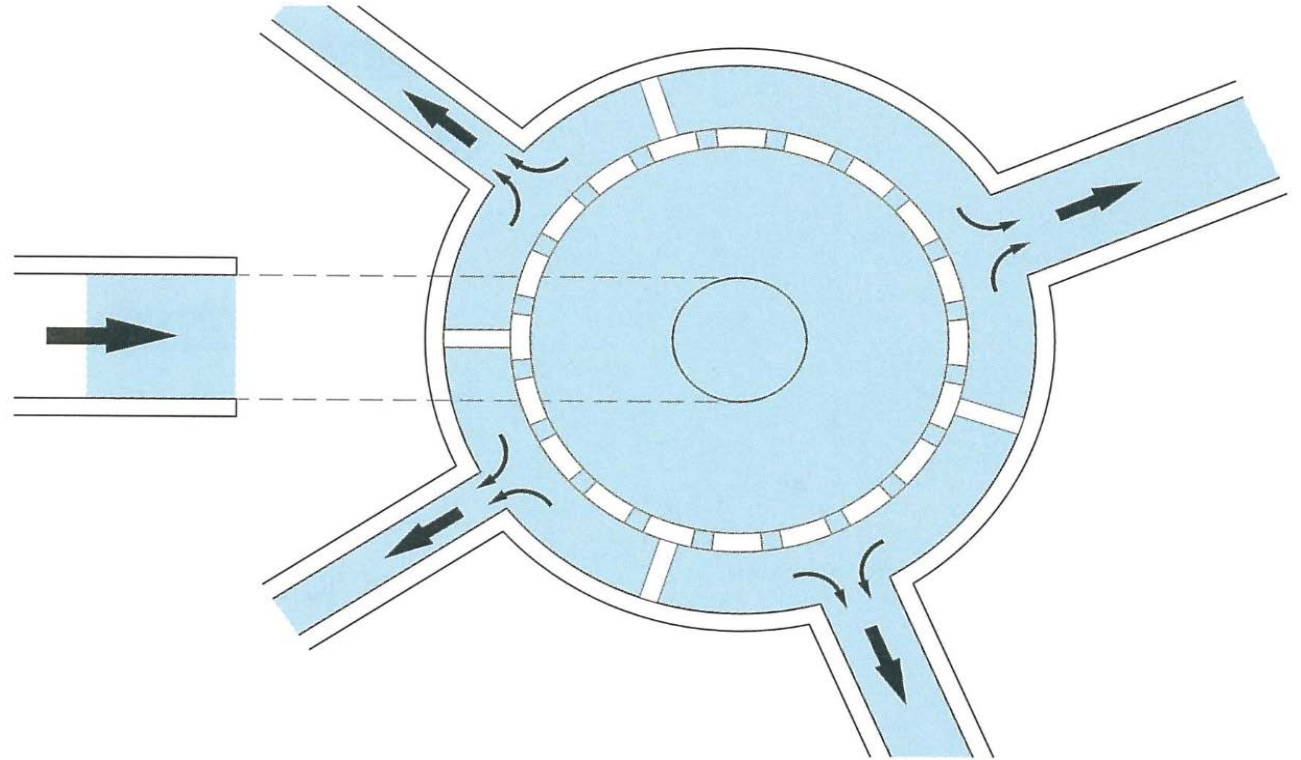
かねてより各地で農業用水にまつわる争いが絶えず、
水の正確な分配は長年の懸案であった



「円筒分水工」

分配が正確かつ公平であることは誰もが一目で
理解でき、機能美をも兼ね備えている構造物

円筒の中央から逆サイ
フンの原理で湧き出
させた水を円筒外周部
から越流させ、
外縁部に設けた仕切り
の間隔や角度、また窓
の数により、
流下する水を6:3:1な
ど一定の比率で各用水
に分配できる。



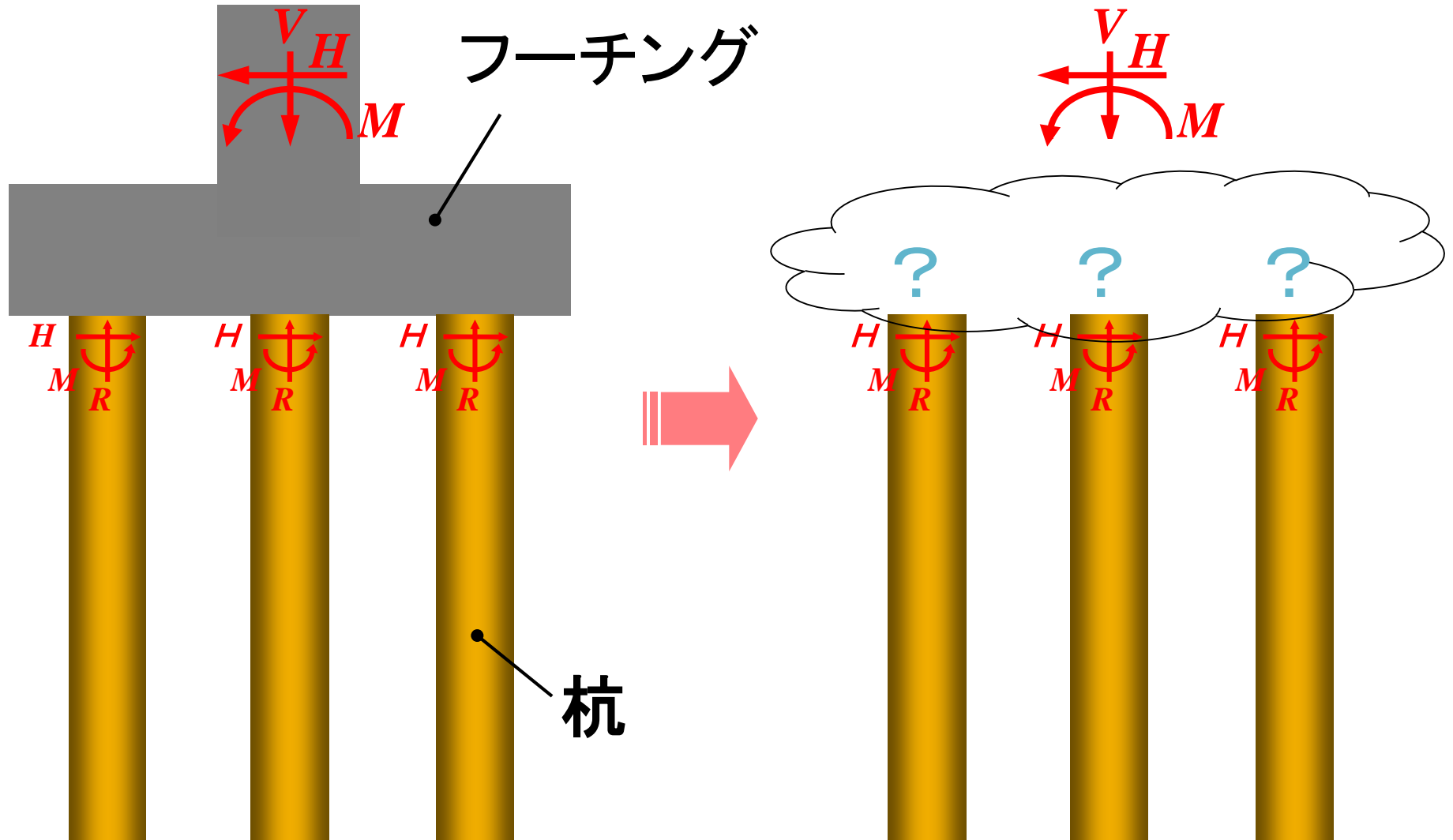
長野県天竜川水系の西天竜幹線水路円筒分水工群

土木学会選奨土木遺産



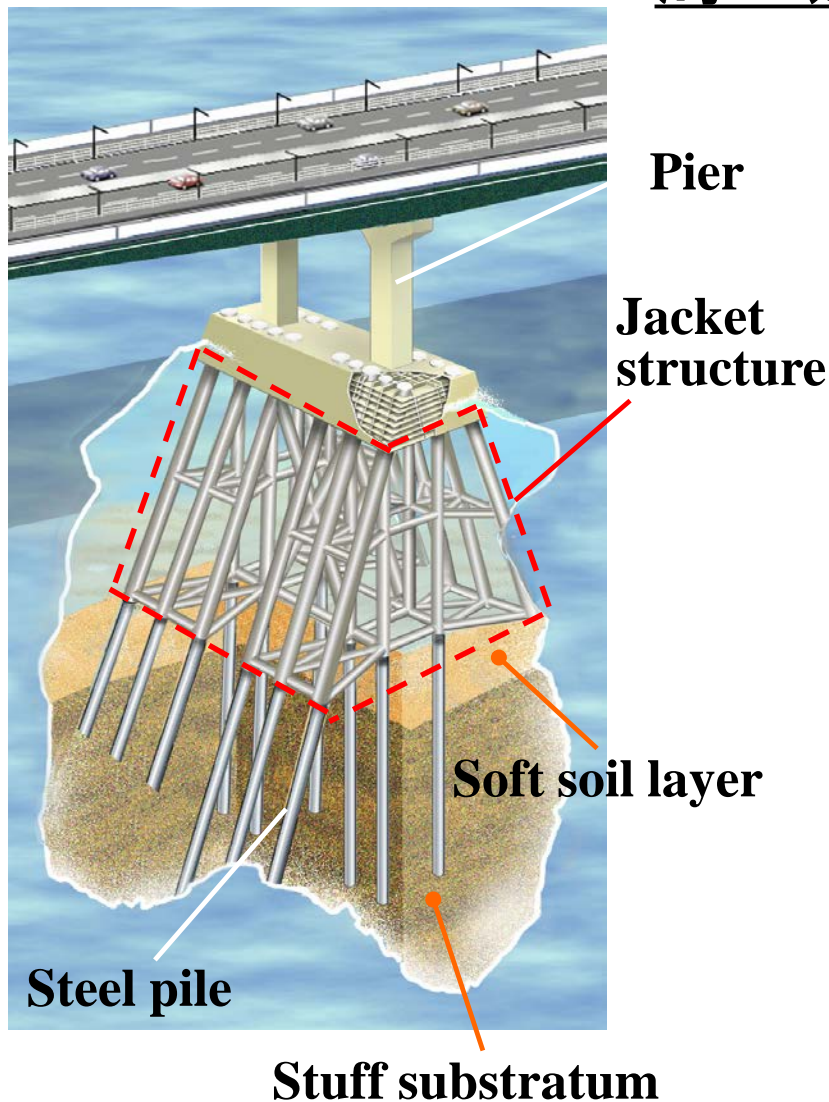
基礎の機能とフーチングの働き

本当にフーチングは必要なのか??



斜杭群杭を含むジャケット基礎（15年前）

海上道路基礎

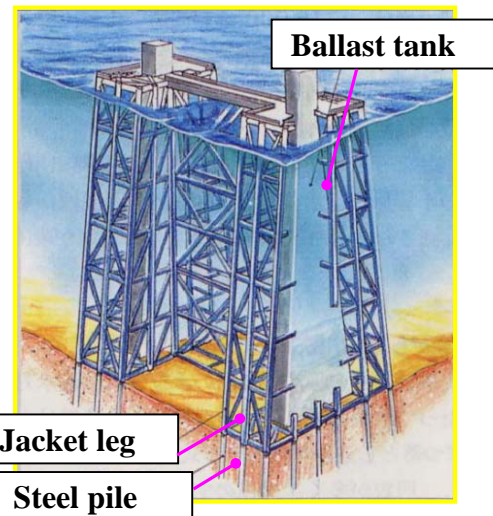


- 従来の杭基礎
フーチングを有するベルタイプ基礎
- 新しく提案する基礎
斜杭を含む鋼管群杭ジャケット基礎

・基礎の軽量化



- ・杭に作用する荷重の減少
 - ・杭本数の削減
 - ・地盤改良が不必要
- バラストタンク**



耐震性能の評価の仕方：動的遠心模型実験とFEMによる数値解析

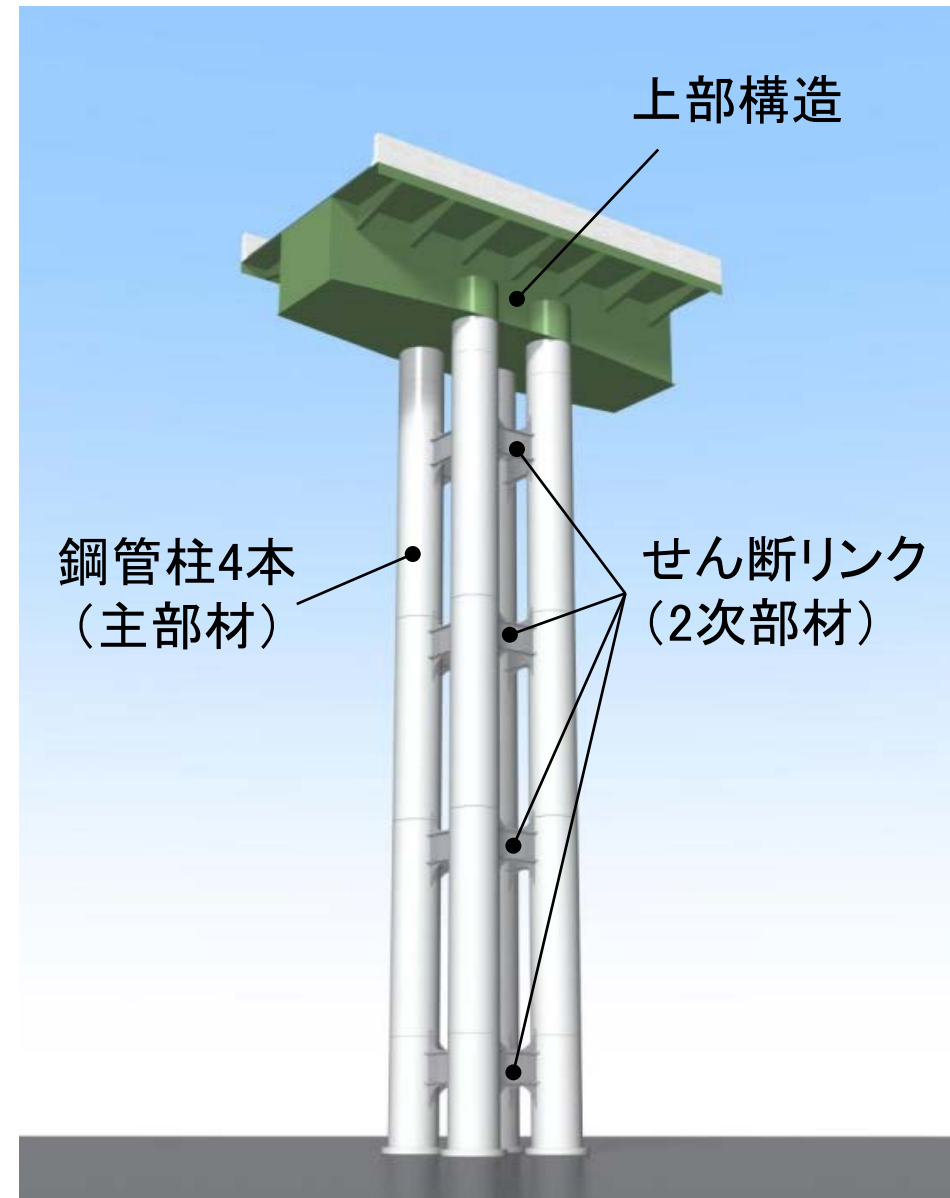
①構造上の特徴

- 鋼管4本組を基本単位
- 履歴減衰機能を有するせん断パネルを組み込んだせん断リンクにより接続

②機能上の特徴

- 上部構造の死荷重や活荷重などの鉛直荷重を主部材である鋼管柱で支持
- 地震時慣性力などの水平荷重を2次部材であるせん断リンクで抵抗する。

→損傷制御設計の適用



鋼管集成橋脚は，従来の橋脚と比較すると

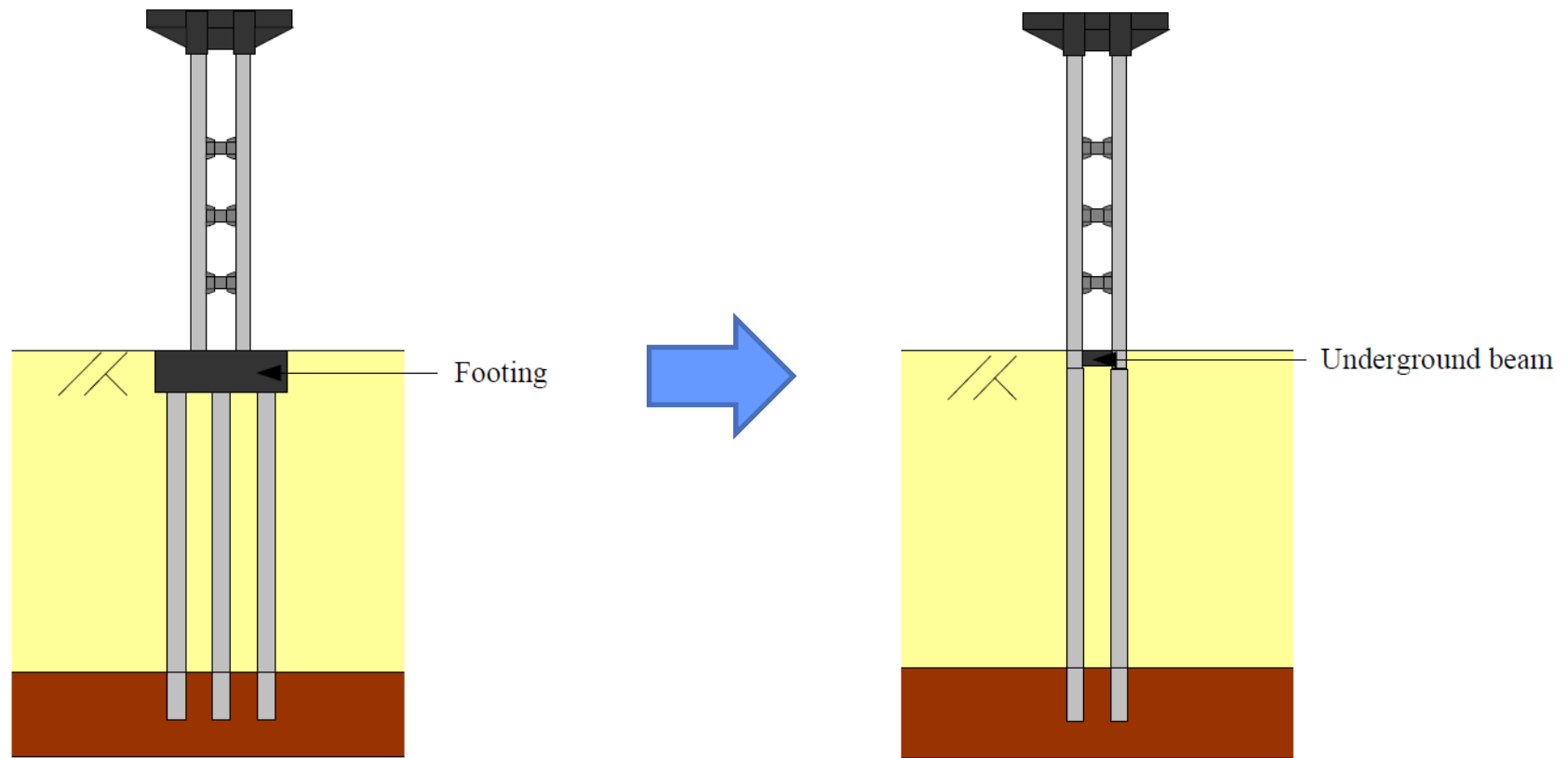
- ▶ せん断パネルが塑性化することで柱基部に発生する断面力が低減
- ▶ 鋼管柱で荷重分配されており，柱数と同数の杭基礎であればフーチングによる荷重分配が不要



杭基礎一体型

鋼管集成橋脚を提案

鋼管柱基礎



- 地震時柱基部のひずみ値が緩和
- 杭基礎のフーチング重量負担の軽減(鋼管柱基礎)
- 地震時杭頭変位が大きくなるが簡易な地中梁を設けることで対応可能

D-F

加振方向
←→



4000

D-S

加振方向
←→



4000

砂：東北硅砂6号，

相対密度：80%

テーパ付き正弦波（周波数2Hz）

によるステップ加振

実験結果(各加振による損傷過程)



加振No. (最大入力加速度)	フーチングを有する杭基礎 (D-F)					杭基礎一体型 (D-S)					
	せん断パネル			鋼管		せん断パネル			地中梁	鋼管	
	上段	中段	下段	柱	杭	上段	中段	下段		柱	杭
第1加振 (0.5 m/sec ²)											
第2加振 (1.0 m/sec ²)											
第3加振 (1.5 m/sec ²)											
第4加振 (2.0 m/sec ²)	せん断パネル			柱・杭 (鋼管)							
第5加振 (2.5 m/sec ²)		弾性		弾性							
第6加振 (3.0 m/sec ²)		塑性		塑性							
第7加振 (3.5 m/sec ²)		面外変形		塑性の可能性あり							
第8加振 (5.0 m/sec ²)											

※D-Fは、第3加振により鋼管が橋脚基部で降伏したため実験終了

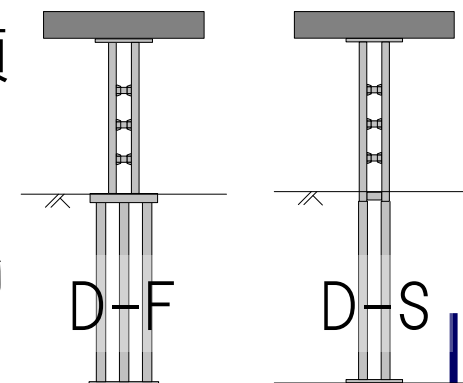
【D-F型】第2加振でせん断パネルが、第3加振で鋼管が降伏

【D-S型】第1加振でせん断パネルが、第8加振で鋼管が降伏

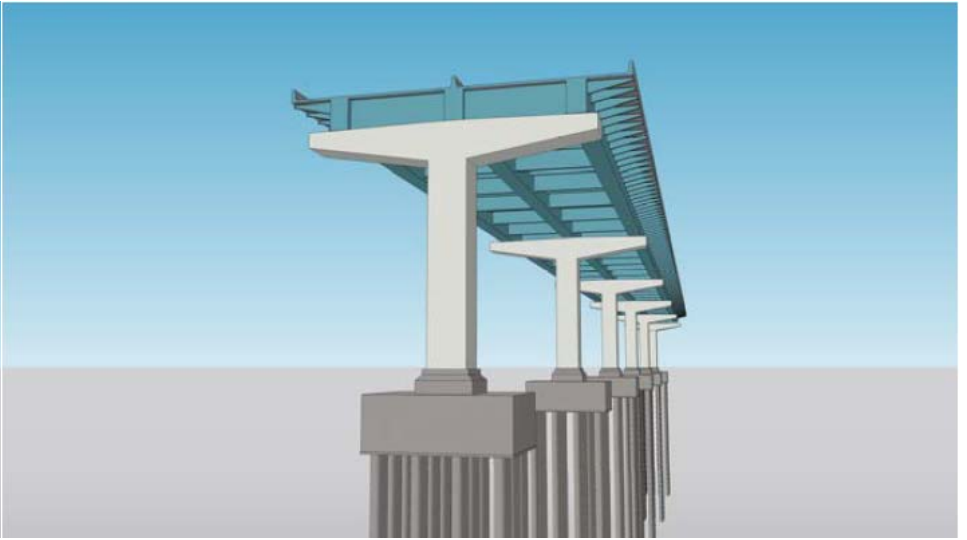
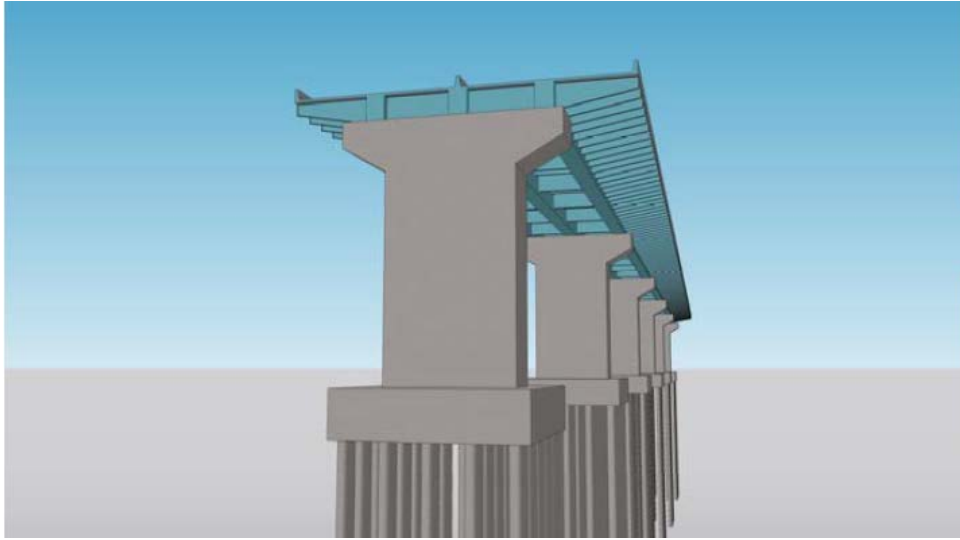
共にせん断パネル (二次部材) → 鋼管 (主部材) の順で損傷が進行



鋼管集成橋脚がせん断パネルの履歴減衰機能により損傷を制御できることを確認



連続高架橋の景観検討



ポテンツァ バゼント橋 イタリア

アーチシェルに支持された5径間連続のRC床版橋
昆虫の殻を思わせる大胆な湾曲(1975)



発展途上国の農道の様子

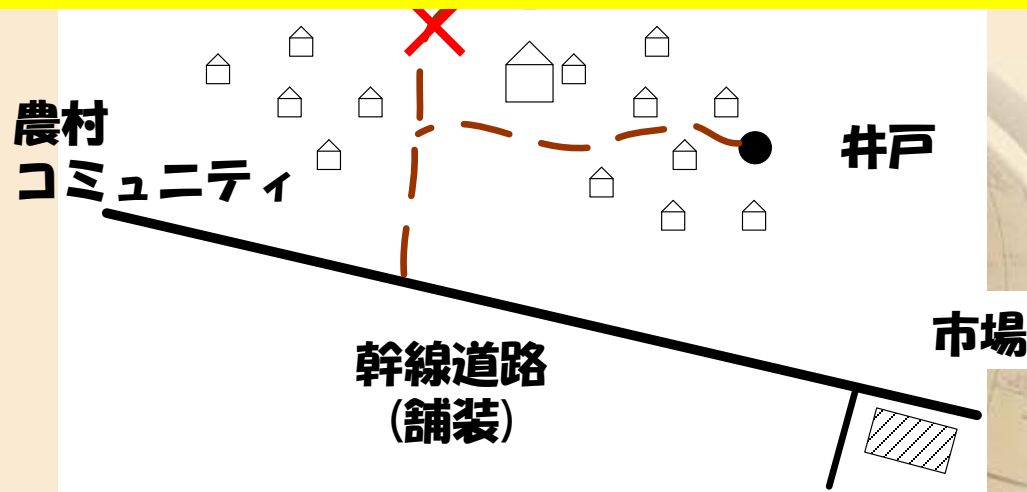
Links to Market!! 道を市場につなげよう!!



泥田状態の道



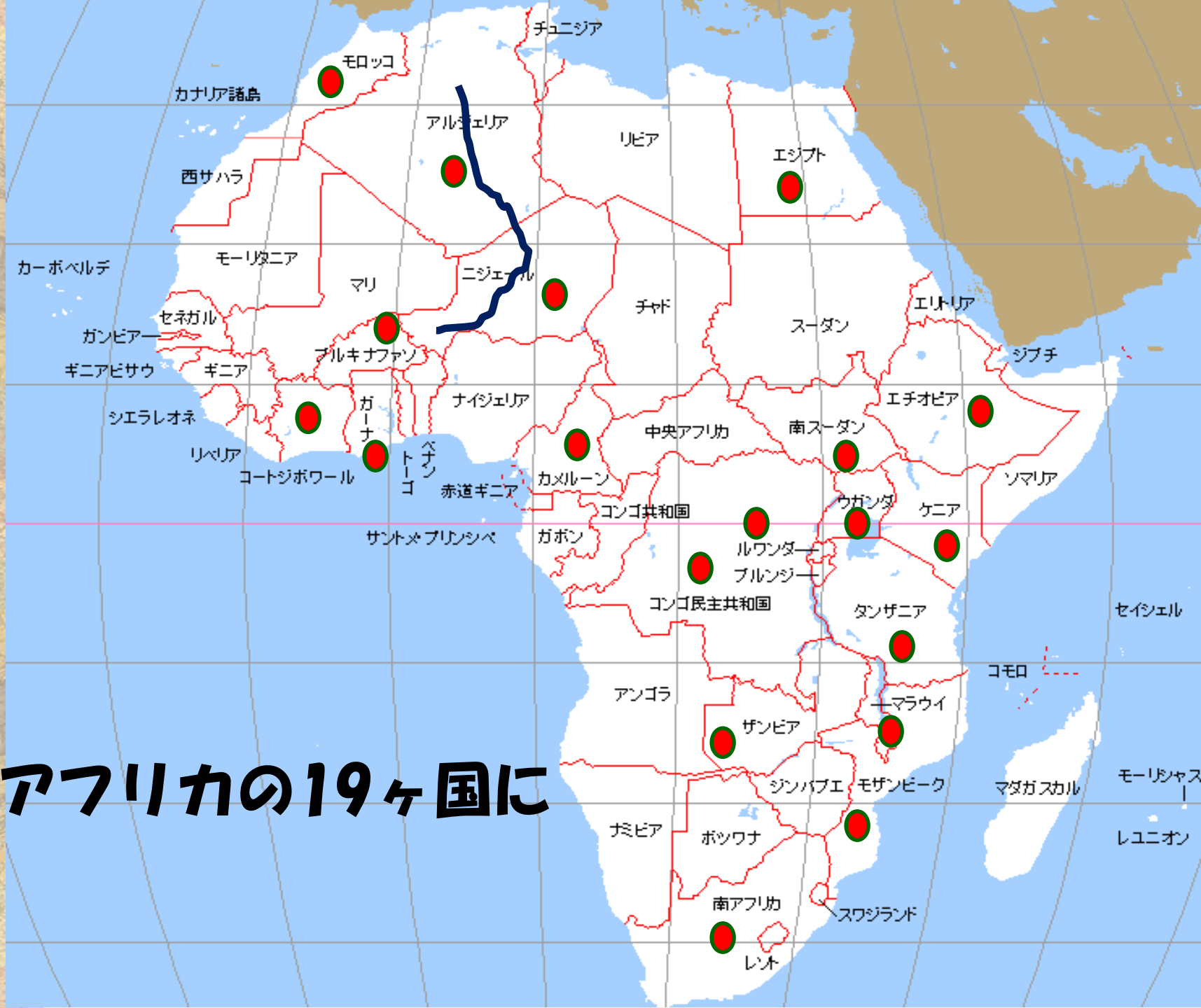
身動きのとれなくなった4輪駆動車



雨季に泥濘化
部分的に車両通行不能

農作物を市場に運べず
換金できない ← 貧困削減

アフリカの19ヶ国に



またアフリカに出張？

ここ20年ほどの間、私が海外出張というと
「またアフリカですか？」といわれた。
普通の人にはアフリカに行く機会など一生に1回あるかないか？

242-74-81-0.307

「アフリカの水を飲んだものは
再びアフリカに帰る」
などという格言が存在しても、
74回も行くところではないで
あろう。



1993年の夏、「JICAがODAで造っているジョモケニアッタ農工大学に行ってきたなさい」といわれ、「**アフリカはいやだな**」など微塵も無い状態で、**短期専門家**として飛び立った。

← **それまで国際協力・国際開発の意識なし。**

私の特徴は家族にいわせれば「**どこの国にどれだけの期間行っても、平気な顔で普通に帰ってくる**」ということらしい。「**どんなものでも食べられて、誰とでもしゃべれて、どこでも寝られる**」をモットーとしていた。

サソリとともに地べたで寝る
(グランドホテル)





蛙
毛虫
猿

アフリカの人々を幸せにする方法

「木村君、**難しい技術**ではなく、**簡単な技術**でアフリカの人々を幸せにする方法を、**考えないとだめだよ**」と、いわれ続けていた。

「**本物の研究者**は**難しいこと**もできるが、**簡単なこと**もできる」。

「**アフリカの問題**を**アフリカ人**が**解決**し、**貧困削減**につなげる」ことが基本である。アフリカで私の研究成果を使ったことは一度もなく、**最新技術**と**講釈**など振り回しても、**無用の長物**であることはわかっていた。

さてどのようにするか。具体例を導き出すのに、**長い年月**（**構想5年・検討2年・実行0年（2005年）**）を要した。

⇒ 「**農道整備**」 **Low cost, Low tech, Local, Labour base** **4L**

Available ApIllicable Affordable **3A**

農村部の人々にとって「道」とは？

Transport

No development
without a road

Life

Access

Very important

To carry farming
products

Network

To see the friends

Faida

Like water

Communication

Above those are the answers from the group members. "What is a road for you?"



平成27年8月14日 内閣総理大臣談話

土木の原点 人々の暮らしを守り豊かにする

だからこそ、我が国は、いかなる国の恣意にも左右されない、自由で、公正で、開かれた国際経済システムを発展させ、**途上国支援を強化し、世界の更なる繁栄を牽引してまいります。**

繁栄こそ、平和の礎です。

暴力の温床ともなる**貧困に立ち向かい、世界のあらゆる人々に、医療と教育、自立の機会を提供するため、一層、力を尽くしてまいります。**

NPO法人 道普請人 (みちぶしんびと)



『自分たちの道は自分たちで直せる』という意識を広げる

基本コンセプト

機械を使わずに、どのようにしたら、
住民が自らの力で、道直しができるのか？

⇒ 「世界の貧困削減」に土木技術者として何ができるのか？

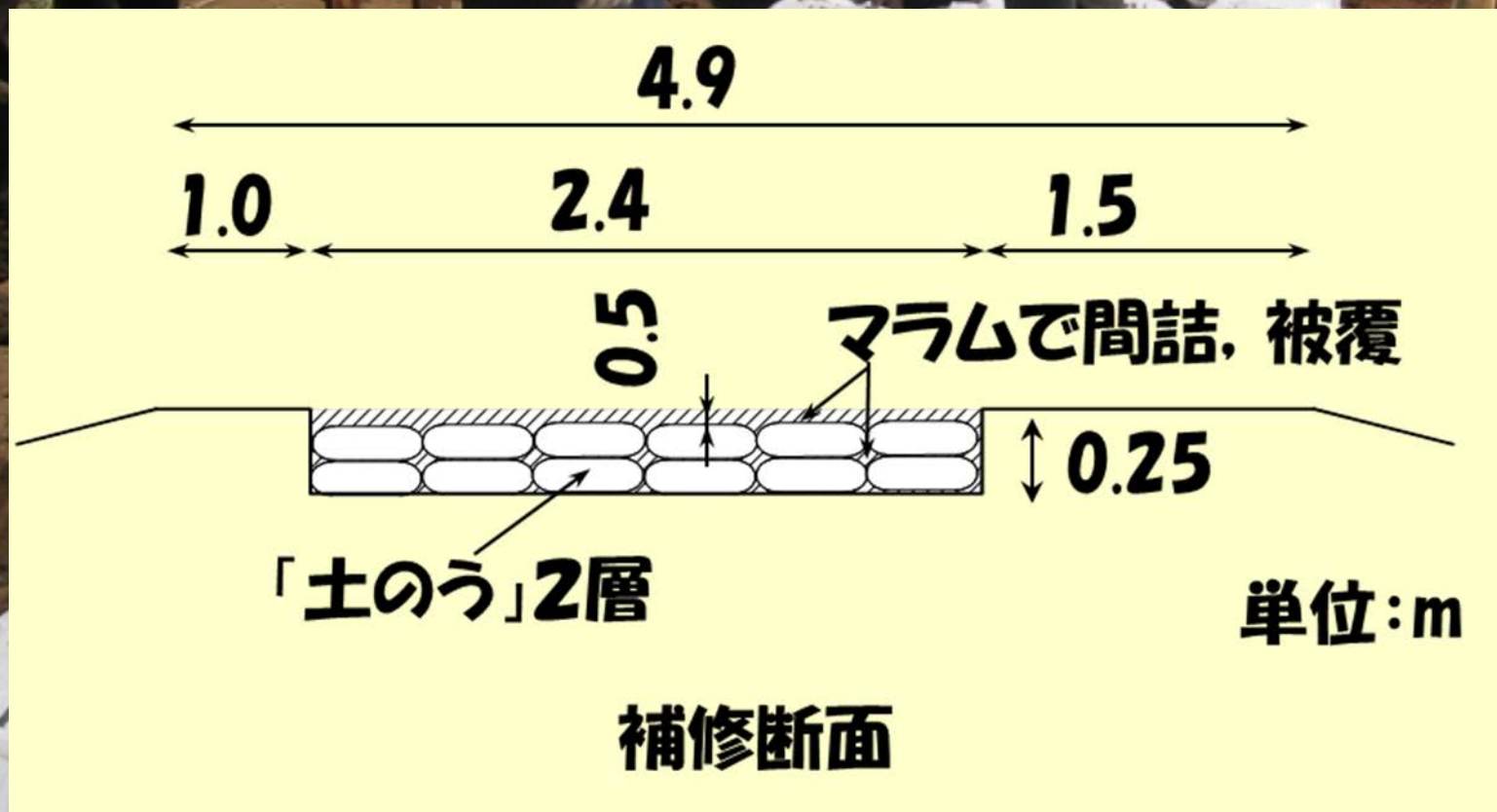


2007年9月 道直し前 (ウガンダ東部)



2008年5月 道直し7ヶ月後

土のう Do-nou



農村接続道路をどのように整備するのか

開発途上国、農村部

人力による

安価で、
現地で調達可能な材料

農民自身による
整備 (重さ25キロ)

持続的に通年
通行性を確保

「土のう」による道路
改修方法を開発、提案

農民自身による、持続的な
道路維持管理システムの構築

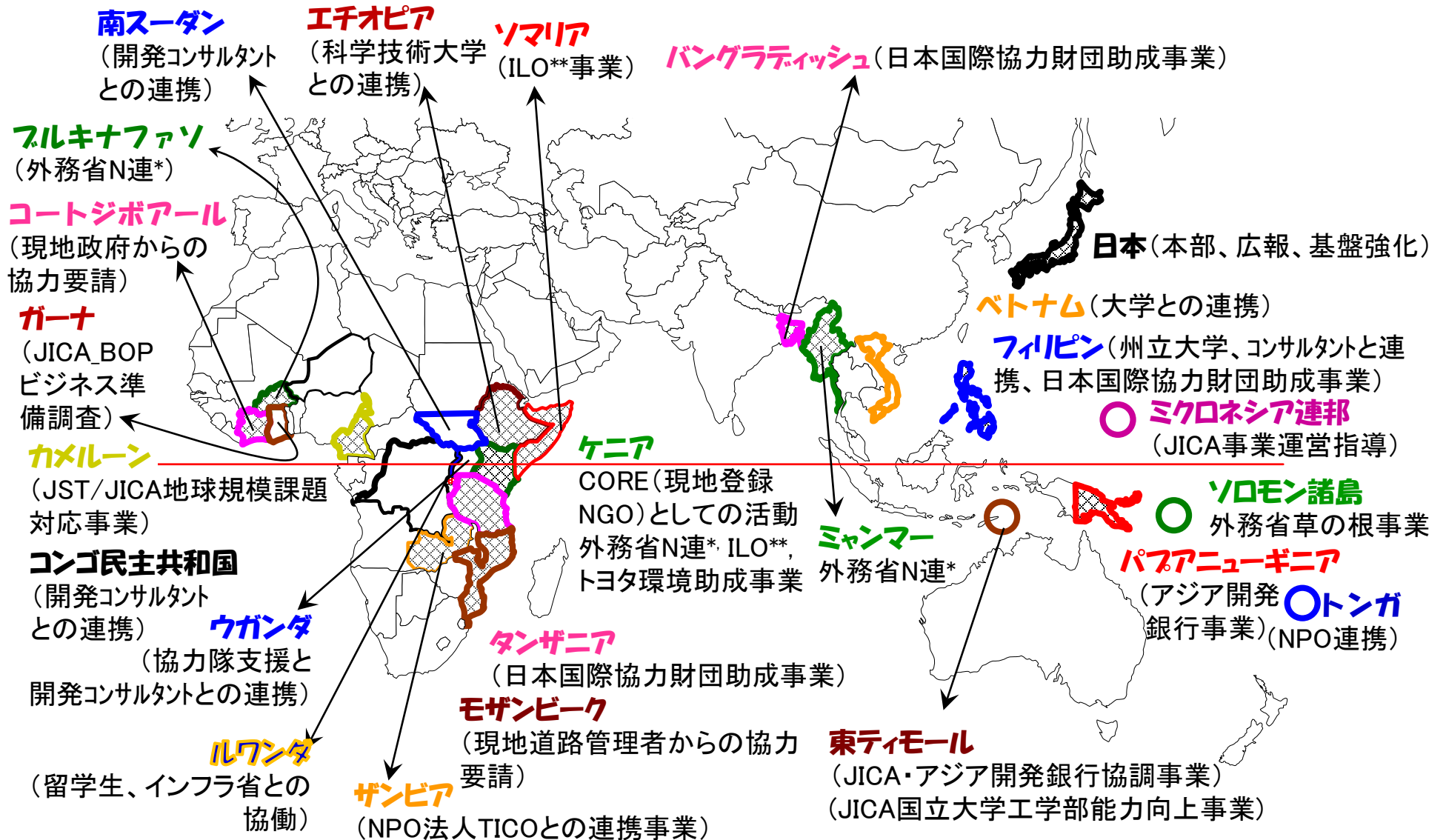


自分たちの問題は
自分たちで
解決する 解決できる
⇒次の発展への体力作り

農村・若者コミュニティを活性化



NPO法人道普請人が活動、関与してきたプロジェクトの実施国 25ヶ国、2016年10月現在（最近：パラグアイ、エルサルバドル）



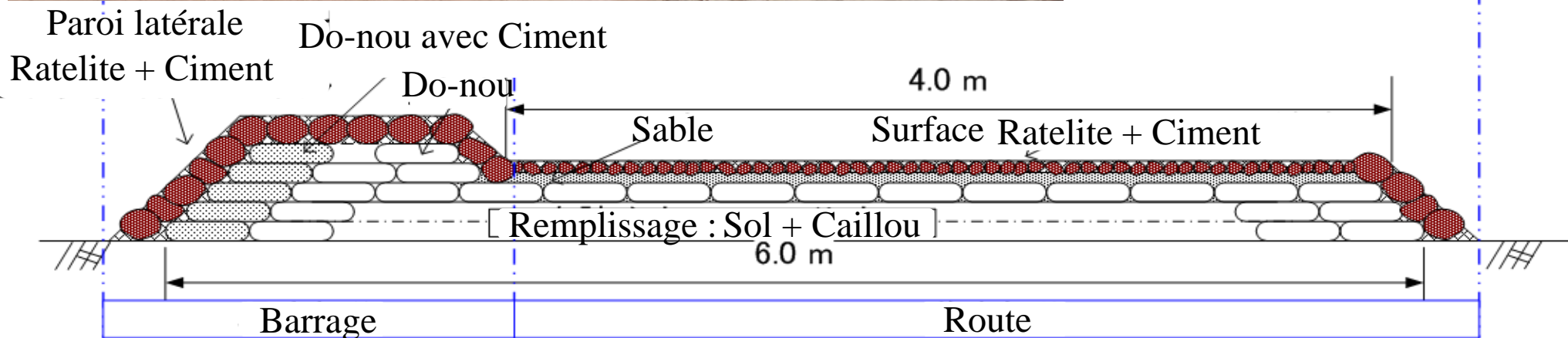
* 外務省N連: NGO連携無償資金協力事業

** ILO: International Labour Organization(国際労働機構)

Construction en remblai de Ouratenga (ブルキナファッソ)

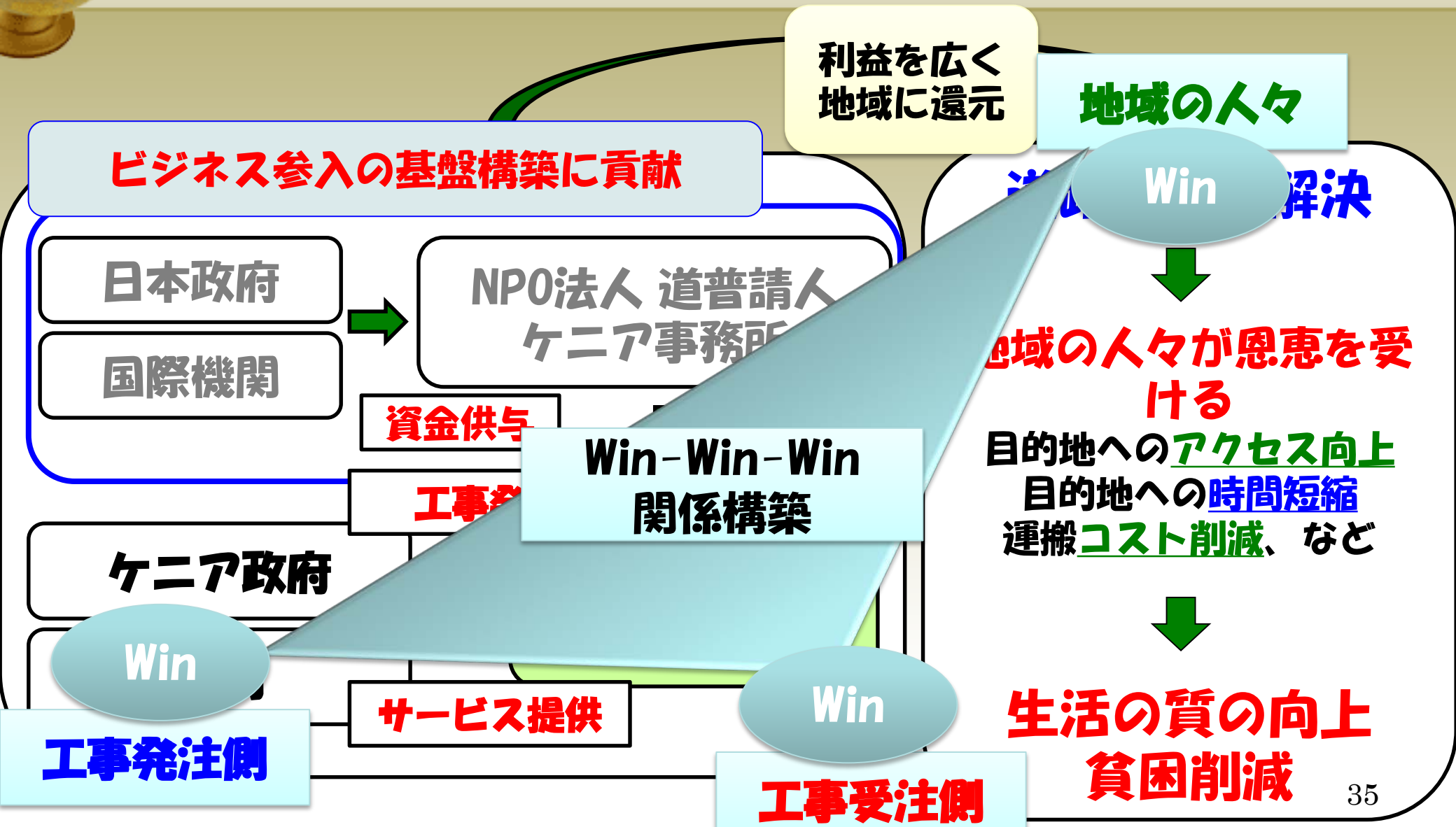


Construction de mur latéral



Coupe Transversale

ケニアにおける住民ビジネスモデル チャリティーからビジネスへ



持続可能な開発に向けた **若者の雇用創出**プロジェクト (国際労働機関 (ILO)との共同事業)

技術を習得する機会
が得られない

仕事に就くこと
ができない

貧困

若者を取り巻く
悪循環を断ち
切ることが国家の
喫緊の課題

ぶらぶらする
若者
が増える

反社会的
行動の増加

課題解決の糸口
若者の雇用を
創出する



【若者に明るい未来を】

「一人、ひとりを強くする日本のアフリカ外交」

2014年1月14日、アジスアベバにて

「道普請人 (CORE: Community Road Empowerment)」という日本のNPOに、格好の実例があります。

でこぼこ道しかない村での話です。陸稲（おかぼ）を出荷するには、トラックが入って来られる所まで、作物を運ばなければなりません。一家総出です。子どもは、学校へ行けなくなります。そんなとき**「道普請人」は村人に、簡易舗装の方法を伝えます。**それは、土嚢を使うこと。道が村へ通じ、集荷のトラックが入ってくると、子どもは重い作物を運ぶ労働から解放され、学校へ通えるようになる。**「道をつくれば、学校へ行ける」というわけです。**

やがて、土嚢舗装を学んだアフリカの若者たち自身から、**道づくりを請け負う事業家**が現れました。それも、スラムから、という後日談つきでした。アフリカの未来は、自らの力で困難を克服する、意欲ある若者たちにかかっています。

アフリカでは、若年人口が増え続けます。**若者たちに明るい未来を示せるなら、アフリカの未来もまた、明るくなるに違いありません。**

Links to Market! 計画

・国内の外務省・JICA、国外の世銀やADBやILO、
開発途上国のNGOとの連携、ビジネスへの発展

海外での事務所開設とNGO登録 パラサイトNGO
活動の拡大と実績作り 25ヶ国 延135 km

・日本の学生ボランティアの育成 延 42名

・「一面新聞広告」になる活動

NEXCO西、鹿島、日本橋梁、計測技研、清水建設 (CSR)

「規模は小さくても、長くサポートして欲しい」

世界でもユニークなオンリーワン ビルゲイツに接近

目指せ! 『ノーベル団体平和賞』

1. 仮設材 大型土のうの問題点



大型土のう（商品名コンテナバック）
耐候性：2ヶ月程度



耐候性大型土のう（紫外線吸収剤使用）
耐用年数：3年程度

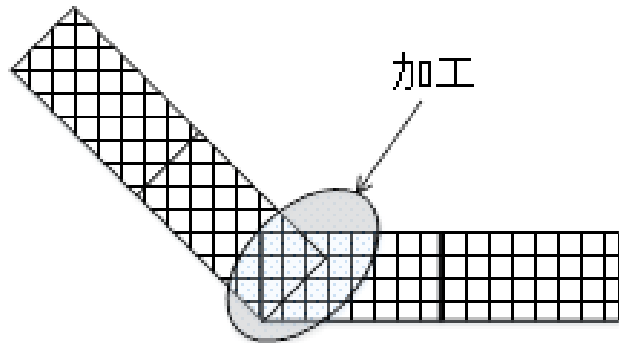


耐候に劣るため大型土のうを，放置すると2次災害の恐れがある

2. 従来工法 ふとんかごの問題点



- 1) 形状が直方体のため、はらみだしがある
かごの変形防止用の固定枠（単管，型枠等）の工事が必要



- 3) 曲がり部の施工性が悪い

現場加工またはメーカー工場加工（異形規格）により対応する



- 2) 栗石の中詰めは、熟練工による人力仕上げが必要になる

* 上の写真は日本じゃかご協会，「じゃかご工法の手引きと解説」より

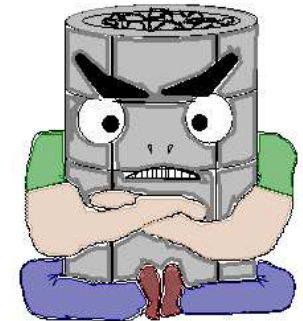
工 法		工 期(m ² /日)	人 員
かご丸くん	バックホウ (クレーン仕様)	19.8	4
ふとんかご(多段積み)		3.5	4
大型ふとんかご		5.0	4
間知ブロック積み		5.0	5
耐候性 大型土のう積層工法	バックホウ (クレーン仕様)	36	4

- 4) 工期が比較的長い
人力施工の工程が多いため

3.かご丸くんの特長 クレーンで吊れる大型円筒金網

1 | 高耐久性アルミ合金めっき部材を使用した恒久的かご工

2 | クレーン等で吊っても型崩れしません！



「国土交通省建設技術研究開発助成制度」 開発工法

昭和機械商事（株）・京都大学



バックホウによる栗石中詰め

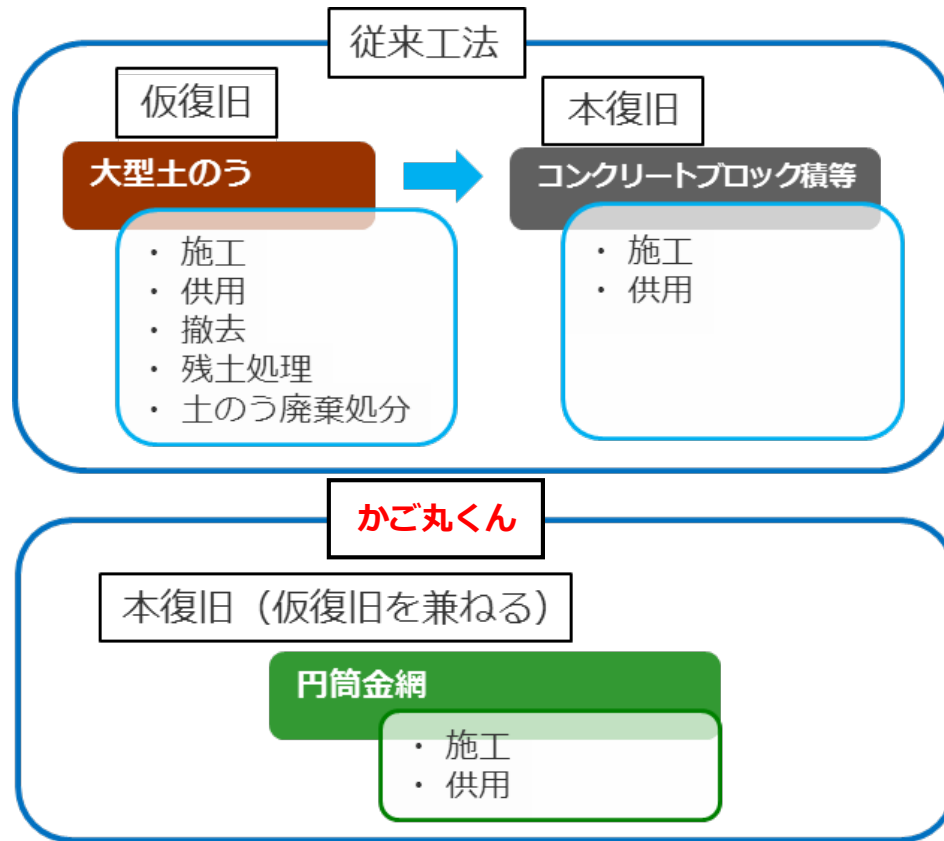


クレーン機能付きバックホウによる据付け



チェーンを巻付け緊張することで、構造の一体化を図る

4.かご丸くんの導入効果



従来工法とかご丸くん



「大型土のうで仮復旧 → 大型土のう撤去 → 従来工法による本復旧」のパターンから、「簡便なかご丸くんにより一気に本復旧」にすれば、**安全性の確保およびコスト縮減**が期待できる。

5. かご丸くんの施工事例



- ・現場が狭いため、かごの組立て・玉石の中詰めの作業場所がなくトラック輸送を行った。
 - ・**トラックから直接据付け作業が可能**であり、かご丸くん130組を3日で据付けることができた。
- * 本現場は山形県長井市で行われた河川災害復旧工事である。規模：延長40m、3段積み、高さ3m（根入れ深さ1m）。

日本での土地の有効利用

急斜面に石垣を積み上げ作られた階段状の畑地
遊子水荷浦(ゆすみずがうら)の段畑(400年の歴史)







ご静聴ありがとうございました

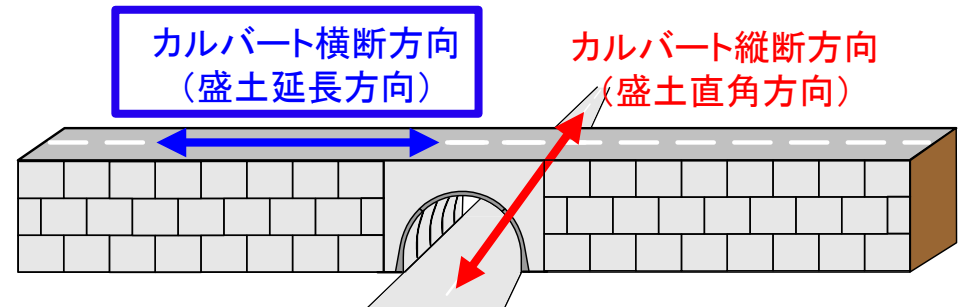


1. ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの地震時挙動

ヒンジ式プレキャストアーチカルバート

- 主要部材をプレキャスト化し、連結位置にヒンジ機能を持たせたアーチカルバート

- 2ヒンジタイプ (両肩部)
- 3ヒンジタイプ (頂部 + 両脚部)



本研究の目的

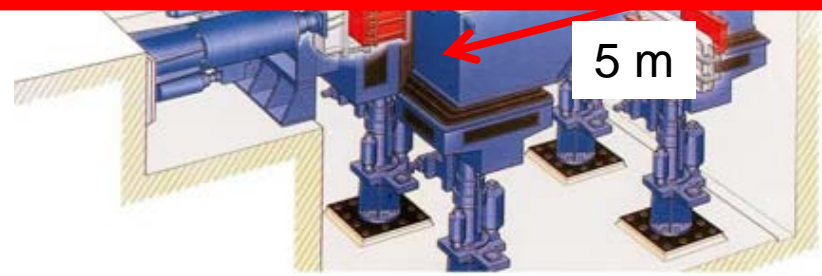
- ・ 強震応答実験装置を用いた大型振動台実験 ➡ 地震時挙動・限界状態の把握
- ・ 模型地盤作製時の内空変位・作用土圧を計測 ➡ 盛土施工段階における変形挙動

動的解析 (再現解析) ・ 静的解析

解析法の違いが同構造の損傷進展過程に及ぼす影響

- ・ 水平2軸+上下方向(X軸, Y軸, Z軸)
- ・ 回転動 ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)

最大加速度: $\pm 1 G$



2.1 実験条件 -カルバート・土槽-

アーチカルバート模型 (W: 1900 mm × H: 1210 mm)

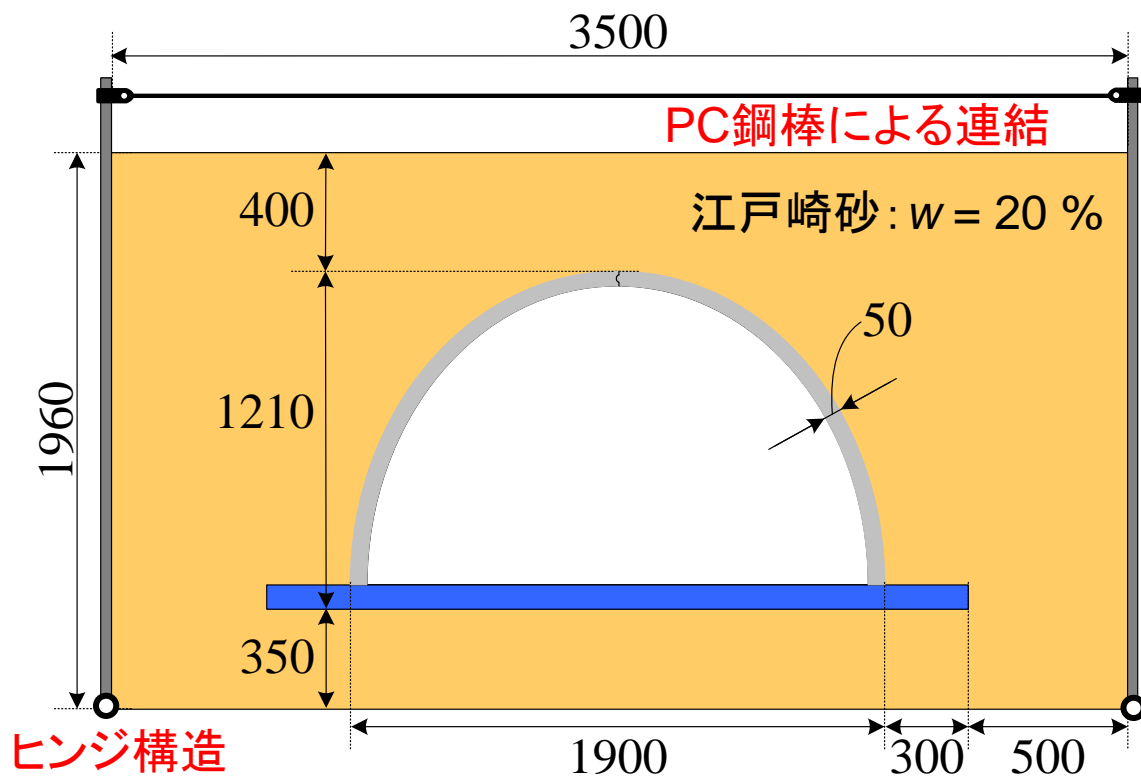
- ✓ 内空幅9.0 m, 内空高5.3 m, 土被り2.0 mの条件で設計

➡ 縮尺のみを1/5としたRC構造

実験土槽の構造 (W: 3500 mm)

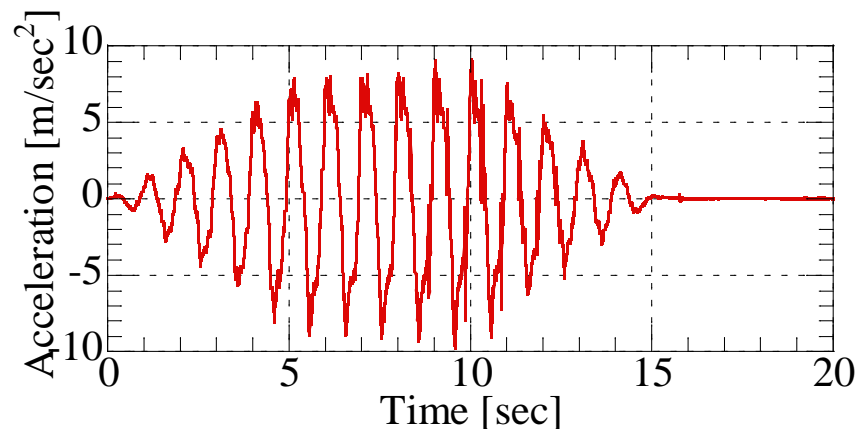
- ✓ 側壁下部：ヒンジ構造, 側壁上部：PC鋼棒で連結

➡ 土槽全体の単純せん断変形を許容

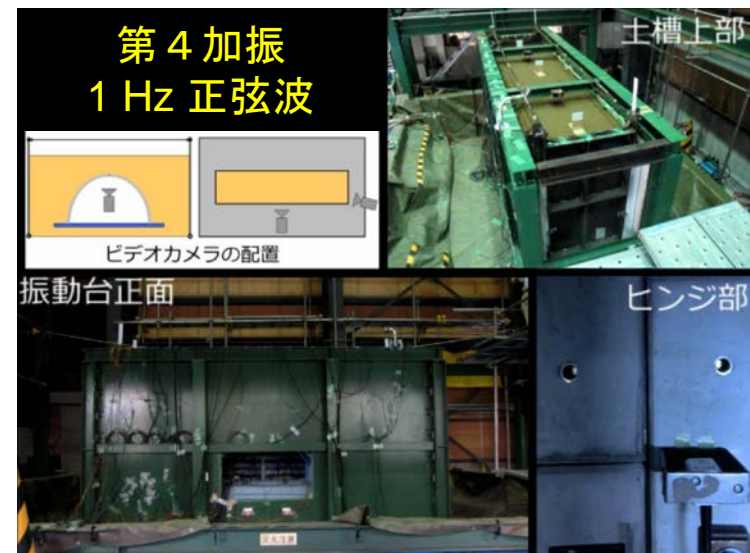


2.2 実験条件 –加振ステップ–

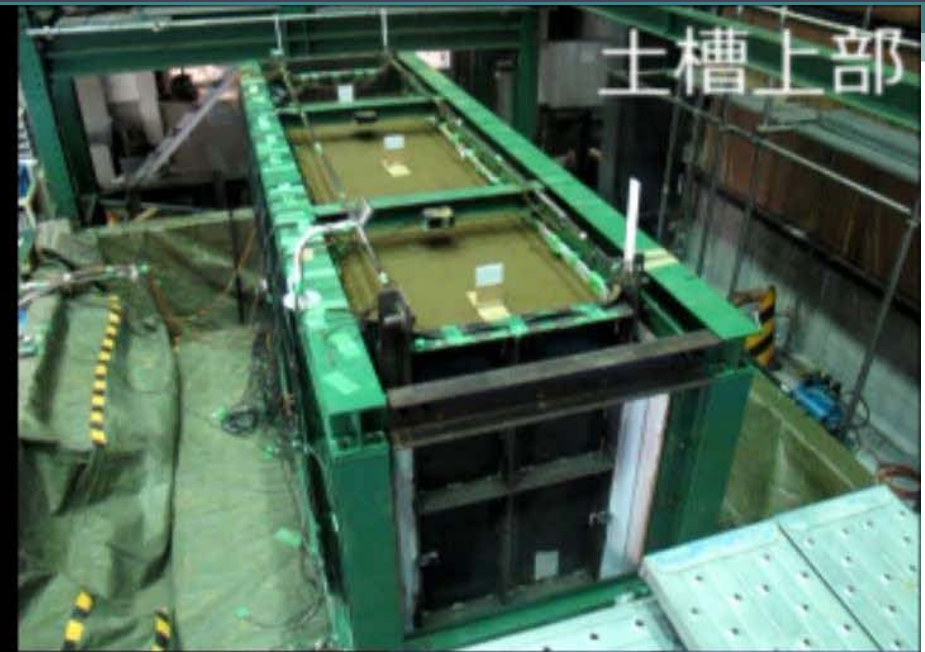
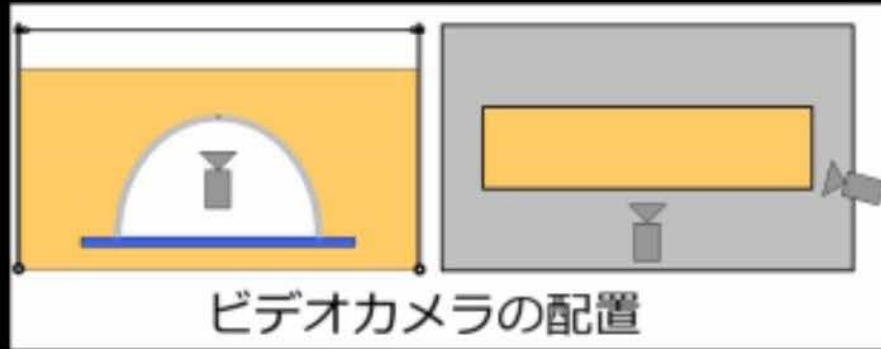
	地震動	最大加速度 [m/s ²]	地盤せん断ひずみ [%]	目的
予備加振	White noise	0.23	—	計器の確認・固有周期の把握
第1加振	L1 地震動	1.46	0.04	L1 地震動に対する挙動
第2加振	L2 地震動	7.57	2.11	L2 地震動に対する挙動
第3加振	1Hz 正弦波	6.05	2.07	大きな変位が発生した時の挙動
第4加振	1Hz 正弦波	9.76	7.64	大きな変位が発生した時の挙動



Step 4: 1 Hz sine wave



第4加振 1 Hz 正弦波



振動台正面



ヒンジ部



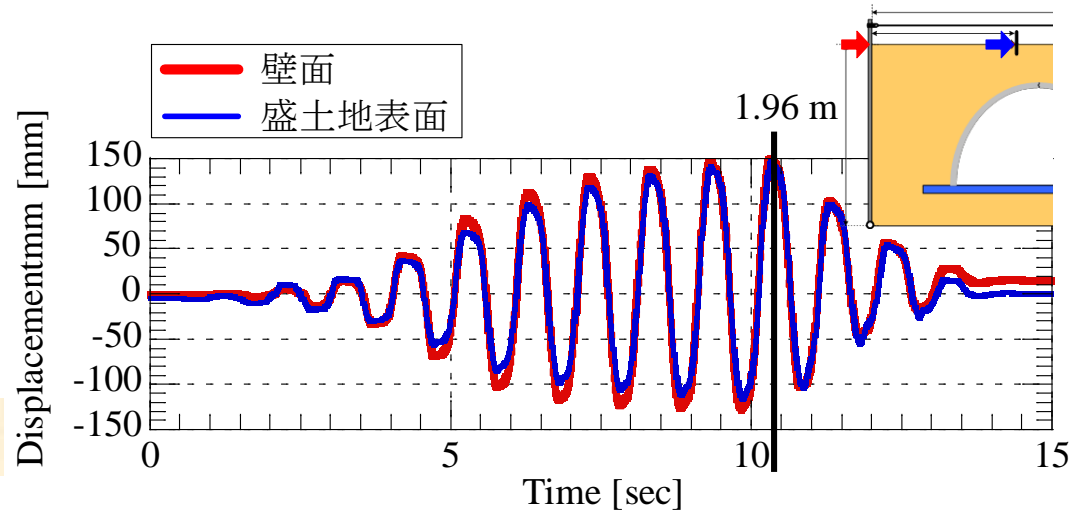
2.2 実験結果 -地盤の水平変位・カルバートの変形モード-

壁面と盛土地表面の水平変位

右向き最大変位: 10.318 秒

- ◆ 壁面: 149.69 mm
⇒ せん断ひずみ: 7.64%
- ◆ 盛土: 145.65 mm
⇒ せん断ひずみ: 7.43%

阪神大震災: 約1% (非液状化地盤)



実験後のアーチカルバートの損傷

**強地震時には鉄筋は著しく塑性化が進行するが
部材が終局状態に至る前に
先行してヒンジが逸脱する可能性は低い¹⁾**

1) 澤村康生, 石原央之, 岸田 潔, 木村 亮: 強震応答実験による3ヒンジプレキャストアーチカルバートの損傷形態の把握, 土木学会論文集C, Vol.72, No.2, pp.62-73, 2016.



5. 本研究により得られた知見

強震応答実験

1. 強地震時には、鉄筋は著しく塑性化が進展するが、部材が終局状態を迎えるまえに先行的にヒンジが逸脱する可能性は低い。

動的解析(再現解析)

2. ヒンジ部を適切にモデル化することで、鉄筋の損傷過程を含めて、実験を精度よく再現することが可能である。

静的解析

3. ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートであっても、その挙動は周辺地盤の挙動が支配的であり、耐震設計法として応答変位法・応答震度法などの静的照査法が適用可能である。