地層処分における性能設計，その意義

飯塚　敦　　神戸大学　都市安全研究センター

iizuka@kobe-u.ac.jp

WTO/TBT (1995)協定：概要

JISC(日本工業標準調査会）ホームページから

TBT協定とは、1979年4月に国際協定として合意されたGATTスタンダードコードが1994年5月にTBT協定として改訂合意され、1995年1月にWTO協定に包含されたものです。TBT協定はWTO一括協定となっており、WTO加盟国全部に適用されるものとなっています。

TBT協定は、工業製品等の各国の規格及び規格への適合性評価手続き（規格・基準認証制度）が不必要な貿易障害とならないよう、国際規格を基礎とした国内規格策定の原則、規格作成の透明性の確保を規定しています。これらにより、規制や規格が各国で異なることにより、産品の国際貿易が必要以上妨げられること（貿易の技術的障害：Technical Barriers to Trade）を、できるだけなくそうとしています。

WTO/TBT (1995)

(AGREEMENT ON TECHNICAL BARRIERS TO TRADE)

Article 2: Preparation, Adoption and Application of Technical Regulations by Central Government Bodies

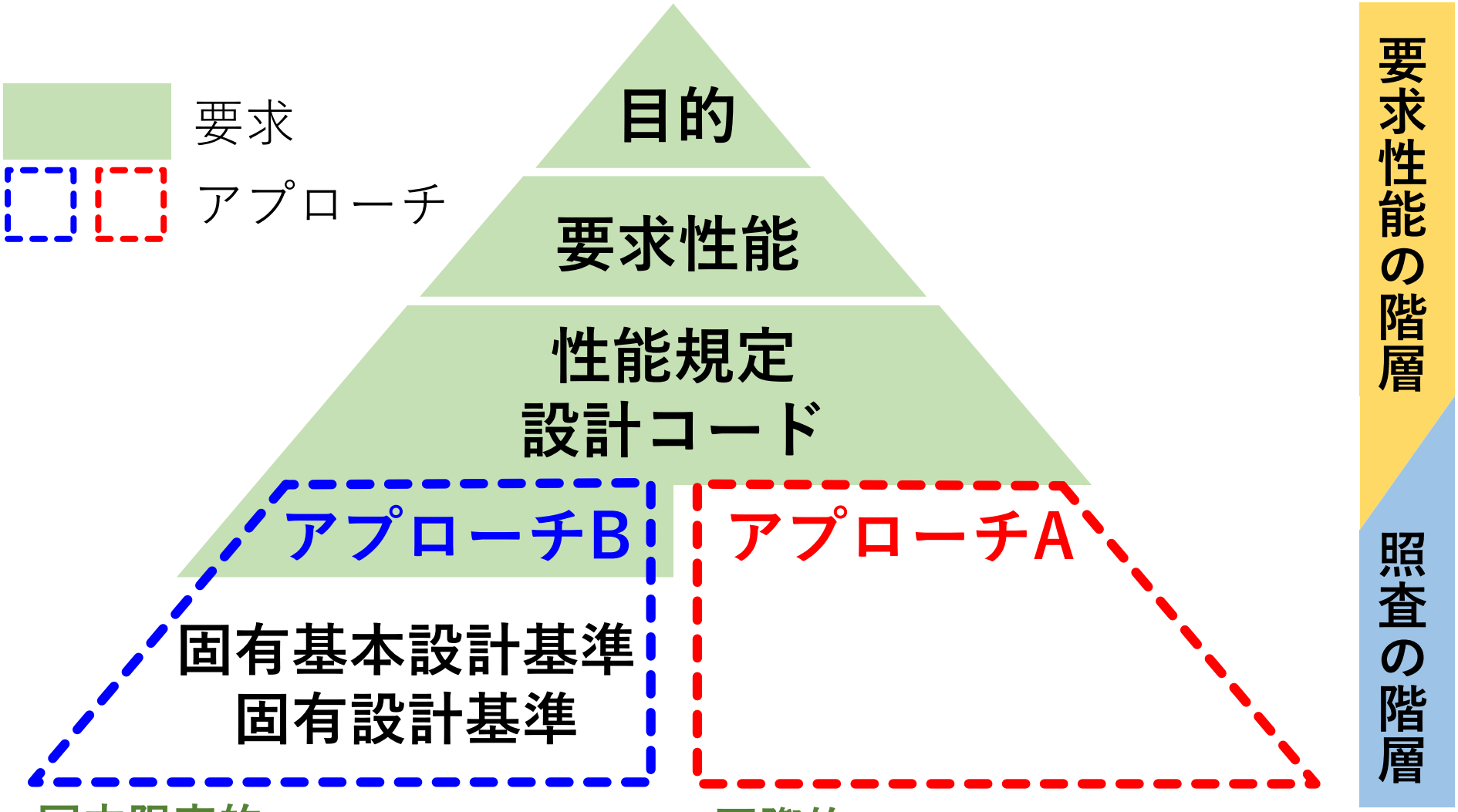
2.8 Wherever appropriate, Members shall specify technical regulations based on product requirements in terms of performance rather than design or descriptive characteristics.

設計：システムを具現化するための手順を明確にするもの

リスク最小化，論理的説明・透明性

契約（発注）：　制度，責任／瑕疵

性能設計 地盤コード21 Ver.1



国内限定的

指定された「固有設計コード」に基づいて，示された手順によって性能照査を行う.

国際的

性能照査の方法に制限をもうけず，しかし要求性能を満足することを証明する.

H17 公共工事の品質確保の促進に関する法律

○ 公共工事の品質は、

① 社会資本を整備するという公共工事の社会経済上の重要な意義にかんがみ、現在・将来の国民のため、国、地方公共団体、発注者、受注者がそれぞれの役割を果たすことにより、

② 建設工事の特性（目的物が使用されて初めてその品質を確認できること、その品質は受注者の技術的能力に負うところが大きいこと等）にかんがみ、経済性に配慮しつつ価格以外の多様な要素をも考慮し、価格と品質が総合的に優れた内容の契約がなされることにより、

③ 工事の効率性、安全性、環境への配慮等が品質を確保する上で重要な意義を有することにかんがみ、より適切な技術又は工夫により、確保。

性能設計化の潮流に合致

イノベーションを励起　　国際競争力の涵養

総合評価方式：WTO対応？

技術の世界の世界戦略

欧州EUの戦略

- デファクト(de fact)標準戦略：

  事実上の標準

- デジュール(de jure)標準戦略：

  公的な標準

- ISO(国際標準化機構）
  - ISO2394　構造物の信頼性に関する一般原則
    - 一般／要求とコンセプト／限界状態設計法の原則／基本変数／モデル／確率に基づいた設計法の原則／部分係数照査式／既存構造物の評価
- CEN（欧州標準化機構）
  - Eurocode　0：　構造物設計の基本
  - Eurocode　7：　地盤設計

●度量衡の統一　→　SI単位
●コンテナ戦略　→　ISO規格統一

12 フィートコンテナ	20 フィートコンテナ	40 フィートコンテナ
長さ12ft（3.6m） 幅　8ft（2.43m） 高さ8'6" （2.59m）	長さ20ft（6.058m） 幅　8ft（2.438m） 高さ8‘6“ （2.59m） →9'6"（約2.9m）	長さ40ft（12.192m） 幅　8ft（2.438m） 高さ 8'6"（2.59m） →9'6"（約2.9m）

車高規制

背高コンテナを積載した場合，荷台の高さ約1,200mmを含めれば約4,100mm．道路交通法で定められた全高3,800mmを超える．

「幹線道路網」は日本で約29,000km，そのうちの560km 47区間でいまだ通行が制限．

重量規制

道路交通法上20フィートで20,320kg，40フィートで24,000kgまでに制限．フル積載されたコンテナはそのままでは陸送できない．規制緩和（1995年3月）によって、20フィートで24,000kg、40フィートで30,480kgまで．

⇩

孤立化の一途をたどる日本！？

世界展開を可能とする国内基盤整備

主にUKを例に

海外の事情 （英国とドイツ）

① 設計や施工に関連したリスクの評価と分担，

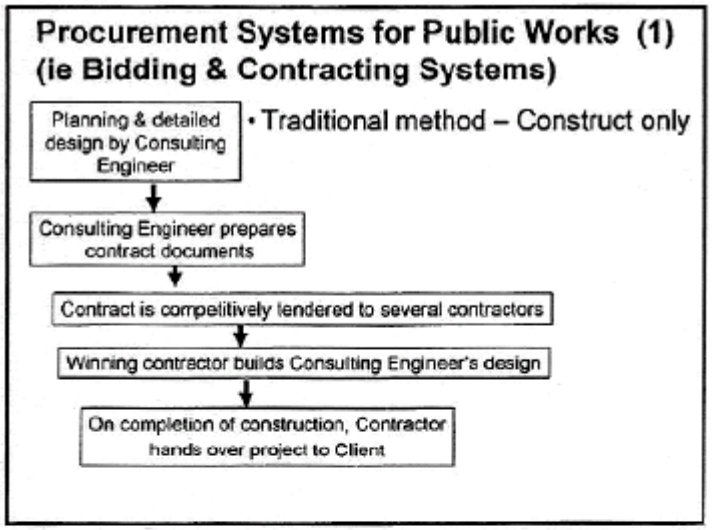
② 新たな設計法や施工法の認証システム，

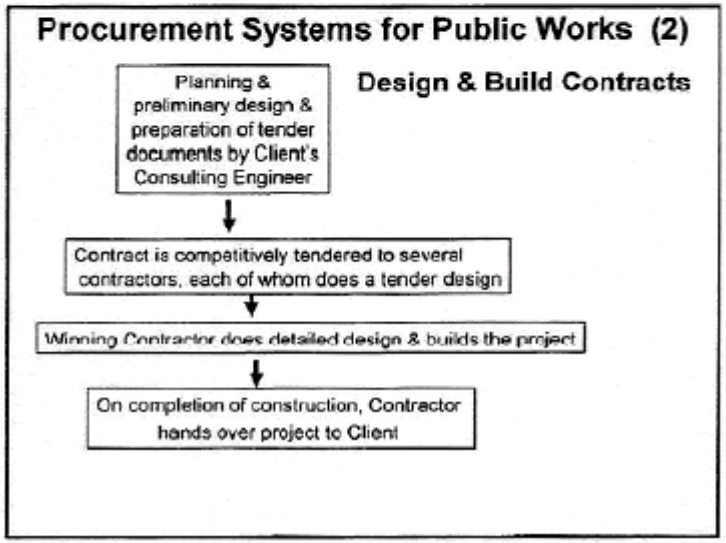
③ 設計責任と保険制度

特に，地盤が関連する設計や施工では，地盤の不均一性に基づく設計の不確実性，長期の沈下とその間の性能保証，設計のためのモデル化の多様性など，特有の問題がある．

土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」
欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

英国での契約システム1





各種契約：政府の調達手続き（Procurement Systems）

a)Traditional method（従来契約）(1)

・クライアント側についたコンサルタントが，計画・詳細設計，および契約文書の準備を行う．

・競争入札を行い，落札したコントラクターはコンサルタントが設計した通りに施工する．

施工後，クライアントに引き渡す．

・瑕疵担保責任期間(Defect liability period)はコントラクター側に通常１年．

b)Design & Build Contract（DB 契約）(2)

・クライアント側のコンサルタントが，概略設計，入札用文書を準備．

・複数のコントラクターによる入札の実施，コントラクターは入札用の設計を示す．

・落札者は詳細設計を行い，プロジェクトを実施する．

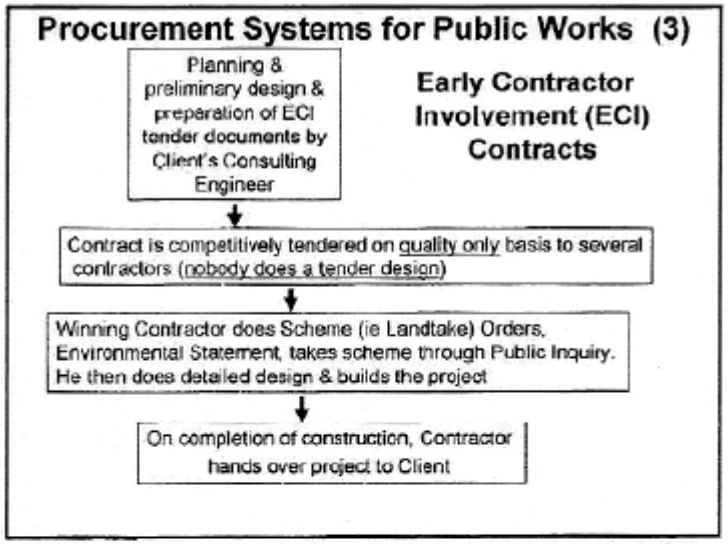
・施工完成後，クライアントに引き渡す．

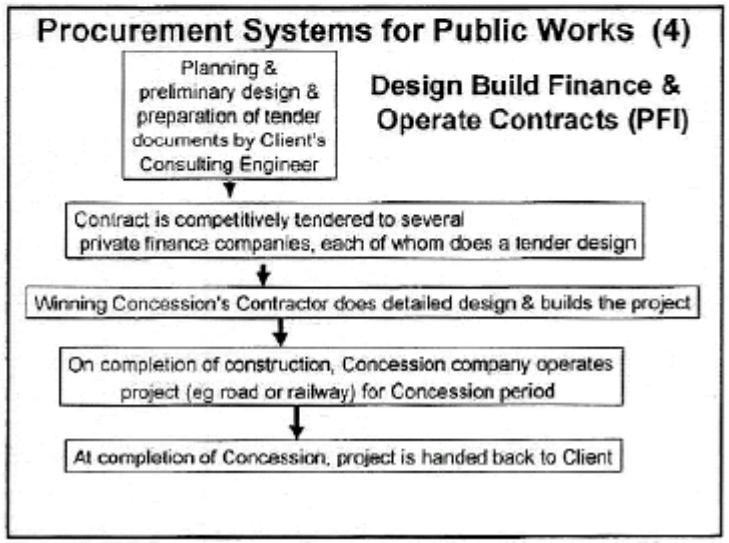
・瑕疵担保責任期間は通常５年．

土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」

欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

英国での契約システム2





c)Early contractor involvement (ECI) Contract

（ECI 契約）(3)

・クライアント側のコンサルタントが，計画，概略設計，ECI入札文書の準備を行う.

・品質のみに基づいて競争入札，入札用の設計はなし.

・落札契約者は，土地取得，発注，環境アセスをPublic Inquiry（公開の求め）を通して実施.

・落札契約者は，詳細設計を行い，プロジェクトを実施.

・施工完了後，クライアントに引き渡す.

・瑕疵担保責任期間は事前に決められない.

d)Design Build Finance & Operate Contracts

(DBFO)（DBFO=PFI 契約）(4)

・クライアント側のコンサルタントが概略設計，入札文書の準備を行う.

・競争入札を，民間金融会社に対して行う．応札する民間金融会社は入札用の設計を行う.

・落札契約者は詳細設計とプロジェクトの実施を行う.

・施工完了後，運営権（concession）を保有する会社が運営を行う．権利保有期間は30 から60年.

・権利期間完了後，クライアントに引き渡される.

土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

責任の所在（英国）

● Traditional contract, ▲ Design and build, × DBFO

	Clients	Designers 1 (Preliminary design for clients)	Designers 2 (Detailed design for contractors)	Contractors
Provide funds	●●●● ▲▲▲▲ ×			×××
Specify requirements	●●● ▲▲▲ ××	● ▲		××
Permanent works design		●●●● ▲▲ Outline × Outline	▲▲ Detail ××× Detail	
Construction methodology			● ▲ ×	●●● ▲▲▲ ×××
Maintenance	●●● ▲▲▲ ×			● ▲ × × × Concession
Operation	●●●● ▲▲▲▲ ×			× × × Concession
Design risk	●●● ▲ ×	●	▲ ×	▲▲▲ ×××
Construction risk	●● ▲			●● ▲▲▲ ××××

土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」

欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

英国

① サッチャー政権以来，発注者側にインハウスエンジニアが少ない分，コンサルタントがその役割を果たしている．

② 建設会社は，DB を単独で受注可能だが，コンサルタントとパートナーシップを結んだり，コンサルタントに設計を委託する場合がある．

③ クライアント，コンサルタント，コントラクターがお互いにパートナーシップを結び，プロジェクトに参画する仕組みが発達している．

④ PFI やDBFO などに見られるように，民間の資金力，技術力を活用した道路などの長期間の維持管理を含めた契約方式が発達している．DB やPFI/DBFO は，設計や施工に対して柔軟な対応が可能であり，技術開発を促進する．

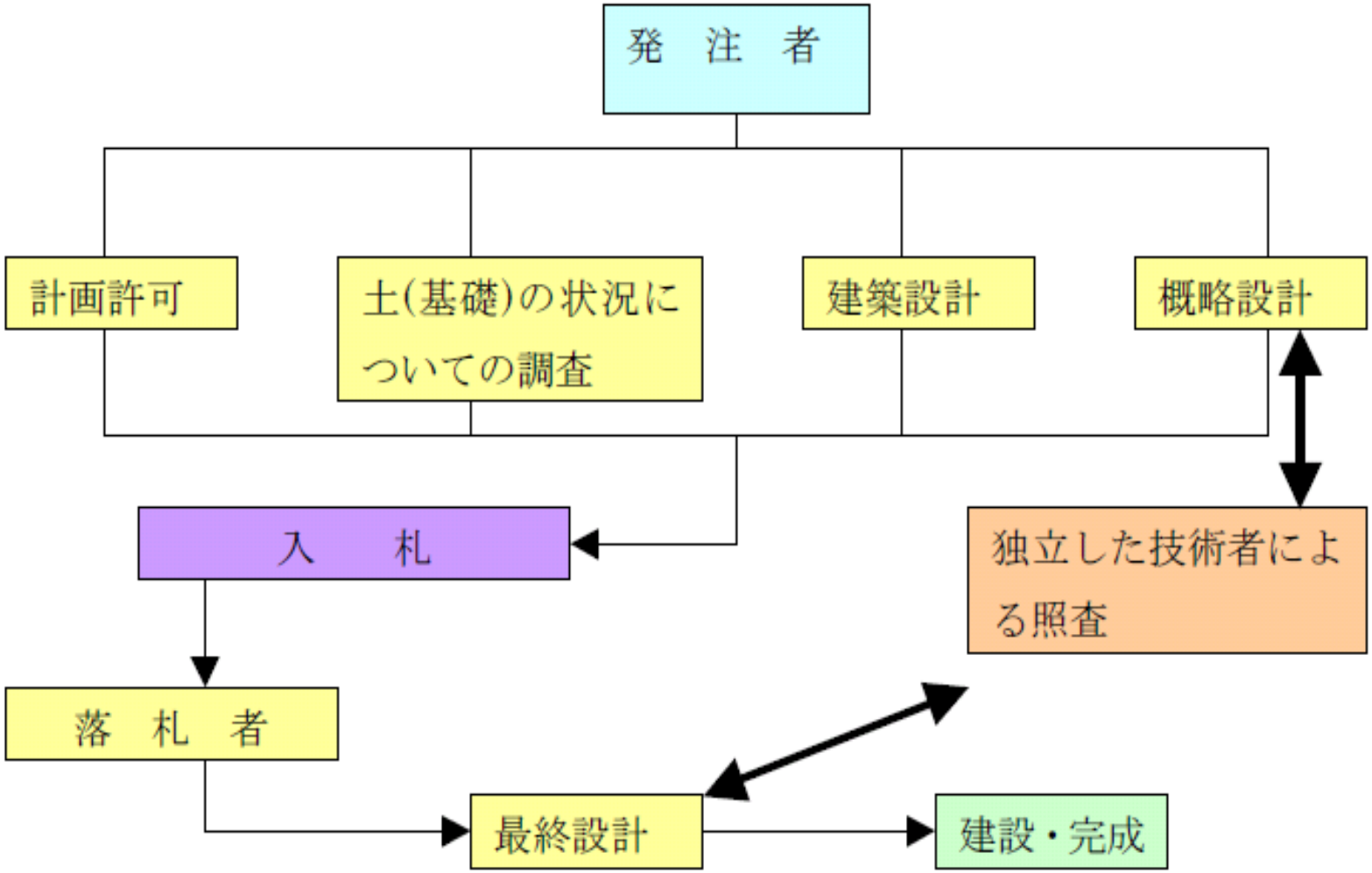
⑤ リスク負担はあるものの，コントラクター（特に大きな企業ほど）は，DB (Design – Build) 契約を歓迎する傾向にある．

⑥ 建設に関わる訴訟が多く，これに費やされる費用や時間が甚大である．

⑦ 設計者は，PI (Professional Indemnity)保険に加入する．保険料は，ドイツと比較すると高額であるようである．

土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」
欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

ドイツの入札契約



土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」
欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

ドイツの入札契約(土構造物の場合)

① 概略設計は発注者側のコンサルタントが実施するが，詳細設計は入札後，落札者が行う.

② 概略設計，最終設計はいずれも独立した技術者（コンサルタント）により照査される（このことは法に規定されている）．詳細設計と最終設計をチェックする照査技術者は通常同じであるが，違っても良い.

③ もし，設計に不備があっても，照査技術者が責任を負うわけではない．設計ミスの責任は，概略設計を行った発注者において行うのが原則である.

④ 照査技術者は州政府が指名する．照査技術者の資格は，大学卒で良いが，所定の実務経験と照査技術者になるための試験に合格しなければならない．この試験は簡単ではない．照査技術者は多数いる（実際は百人以下であるとのこと？？）．大学教授も多く，定年は，68 歳である.

土木学会「土構造の性能評価に関する小委員会」
欧州における性能設計を支える制度に関する調査報告書(2006)より

What is Eurocodes

EN1990 Basis of design for structural Eurocodes
EN1991 Actions on structures
EN1992 Design of concrete structures
EN1993 Design of steel structures
EN1994 Design of composite structures
EN1995 Design of timber structures
EN1996 Design of masonry structures
EN1997 Geotechnical design
EN1998 Design of structures for earthquake resistance
EN1999 Design of Aluminum structures

Started their work in 1970's. More than 60 documents.
CEN (European Committee for Standardization), Brussels

参考

英国における道路土工の設計

Highways Agency（UK）

•HA 44/91 Design and Preparation of Contract Documents

•HD 22/08 Managing Geotechnical Risk

参考

Highways Agency

- 英国道路庁（交通省Department of Transport :DTpの外庁）
- １９９４年設立
- 交通省の政策執行機関
- 高速道路・幹線の建設・運営・管理を実施（Network　Operator）
- 管理延長　約９４００km
- 職員数　約１７００名

参考

Highways Agencyの契約手法の変遷

- 1990年代　設計･施工分割発注方式
- 1992～　設計付き工事契約方式
  (Design and Build:DB)
- 2001～　早期設計付き工事契約方式
  (Early Contractor Involvement: ECI)
- 近年　設計･施工･資金調達･施設運営
  一括受託契約
  (Design Build Finance and Operate: DBFO)

参考

設計体制と責任

- Regional Geotechnical Engineer（GE）
  Client側・計画に関わる地盤関連面に対する責任
- Project Manager（PM）
  Client側・計画の恒常的運営に対する責任
- Geotechnical Liaison Engineer （GLE）
  DB側・任命（渉外）設計者・計画に関わる地盤の諸問題に対する責任
- Designer / Design Organization（DO）
  DB側・コンサルタント設計者またはインハウス設計者・設計責任
- 責任の所在の明確化
- 4者間の連絡調整の重要性

HA 44/91 Design and Preparation of Contract Documents

1.11 Regional Geotechnical Engineer (GE) is the Regional Office (Transport) Geotechnical Engineer with delegated responsibility for the geotechnical aspects of the scheme.

1.12 Geotechnical Liaison Engineer (GLE) is the Designer's nominee responsible for geotechnical matters relating to the scheme.

1.13 The Designer is the Consulting Engineer or Agent Authority responsible for the earthworks design. The 'Designer' is now termed the 'Design Organisation' (DO) but, pending a future complete revision of this Advice Note, the former term is retained pro tem for consistency within the amended document.

1.14 The Engineer is the Engineer as defined in the Conditions of Contract.

1.15 The Project Manager is appointed by the Regional Office Director (Transport) to be responsible for the day-to-day management of the scheme on behalf of Dtp.

1.17 The use of the Department's Standards, Advice Notes, Specifications etc are all part of the Certification procedures. For these to work satisfactorily there needs to be good liaison between the Project Manager, Designer, GE and GLE. It must be noted that the Project Manager has a clear responsibility for the technical aspects and the management of the scheme whilst the GE is responsible for receipt of Certification and may be required to be involved in the geotechnical aspects. The GE must keep the Project Manager fully informed of all geotechnical matters which might affect the cost and progress of the scheme. Equally, the Project Manager must inform the GE of any geotechnical work required to progress the scheme.

参考　Managing Geotechnical Risk（1）

- 地盤に関わる明瞭かつ一貫したリスク管理の実施（記録）
- 計画における重要な意思決定に関わる4つのステージを一連のものとして管理する
- リスク管理者の配置
- Designer’s Geotechnical Advisor (DGA)
  DB側のリスク管理者
- Overseeing Organization’s Geotechnical Advisor (GA)
  Client側のリスク管理者
- プロジェクト初期段階においてDGAとGAの良好な連絡関係の確立が重要

1.2 The purpose of this standard is to provide a clear and consistent framework to record the management of the geotechnical risk involved in a scheme. Certification is applied as a series of steps at four Key Stages of projects. It is intended that these stages are related to the key stages of decision making within the lifetime of a scheme.

1.4 This standard establishes the two key personnel who shall ensure that geotechnical risk is managed. These personnel are the Designer’s Geotechnical Advisor (DGA) and the Overseeing Organisation’s Geotechnical Advisor (GA). A key aspect of effectively managing geotechnical risk is the establishment of liaison between these parties at an early stage of the project.

•HD 22/08 Managing Geotechnical Risk

参考　Managing Geotechnical Risk（2）

- リスクの認識・克服・管理
- 地盤情報の不確実性
- 地盤情報の不確実性に起因するリスクに関して率先した対応が重要

- 1992年段階のStandardは予算超過に対するリスク管理であったが地盤に関わるリスクに起因した予算超過が顕在化
- 2002年Standardでは地盤に関わるリスク区分を明らかにした。
- Eurocodeへの対応

1.7　An essential part of ensuring value for a project is the identification and management of project risks. All parties involved in a project have a role in ensuring that project risks are identified, overcome or managed. Ground conditions are often uncertain and a risk to any project. The risks from these ground conditions must be managed in a pro-active manner (Ref 1). The main risk that the 1992 standard set out to overcome was that of cost overrun, however, ground related risks affect and influence many facets of construction. The revised standard issued in 2002 introduced simplified and streamlined processes to ensure that ground related risks are correctly managed. The 2002 version of this standard introduced the concept of geotechnical categories based on the complexity and degree of geotechnical risk to the project and followed the guidance given in BS EN 1997-1 (Ref 2).

1.8　The current revision has been based on feedback received from users of the 2002 Standard and is intended to further simplify and improve the process. The reporting process has been also been aligned to reflect the requirements of BS EN 1997-1 and 1997-2 (Refs 2 and 3).

•HD 22/08 Managing Geotechnical Risk

参考　Managing Geotechnical Risk（3）

Key stage 1 初期調査

- プロジェクトに関わる地盤潜在リスクの明確化
- Designerへ潜在リスクの主旨書提出 (Statement of Intent)

Key stage 2　初期評価・予備証明

- Outline Design のためのリスク評価
- 土地取得・発注準備
- Designerへ机上検討報告書と地盤調査報告書を提出

2.4　There are four Key Stages in the Geotechnical certification procedure. These stages are arranged to be an integral part of the overall project progression to ensure the procurement of the geotechnical information necessary to undertake an accurate assessment of project risks. They are listed below:

Key Stage 1　Initial Review of Project and Geotechnical Risks to determine its **Geotechnical Classification** and thus the requirement for Geotechnical Certification: *This stage ensures that potential geotechnical risks are identified at project inception. The requirements for specialist geotechnical processes are also assessed at this stage. The document required from the Designer at this stage is the Statement of Intent (See Appendix B.)*

Key Stage 2　Preliminary Assessment including Preliminary Certification: *This stage contributes to the preparation of the outline design and where necessary the requirement for land acquisition and orders preparation. The documents required from the Designer at this stage are the Preliminary Sources Study Report (Desk Study) and the Ground Investigation Report. (See Appendices C and D.)*

•HD 22/08 Managing Geotechnical Risk

参考　Managing Geotechnical Risk（4）

Key stage 3　Geotechnical Designと建設と証明

- 詳細設計と建設準備・実施のための情報を契約者に提供
- 地盤設計報告書（近隣の建設終了工区の情報も含む）

Key stage 4　Geotechnical feedback

- 設計変更に関わるunexpectedな地盤情報を提供
- Geotechnical feedback report

Key Stage 3 Geotechnical Design and Construction Certification: *This stage provides the information for the detailed design and for the contractor to prepare and carry out construction. The output required from the Designer at this stage is a Geotechnical Design Report with all sections completed prior to construction of relevant areas. (See Appendix E.)*

Key Stage 4 Geotechnical Feedback: *This stage reports on all construction work and particularly any unexpected ground conditions requiring changes to design that occurred. This Key Stage is a requirement in contracts let by the Overseeing Organisation. The output required from the Designer at this stage is the Geotechnical Feedback report (See Appendix F.)*

•HD 22/08 Managing Geotechnical Risk

参考

引き続いて・・・・

Slope Stability Analysis

Embankment

Ground Treatment

Use of computers in design　など

参考

Slope Stability Analysis（1）

- 地盤の安定問題は複雑
- 斜面崩壊に関わる地層と地下水の工学的重要性の方が用いる斜面安定解析手法よりも重要
- 地形・地質の理解
- 地形・地質・地下水の情報が把握されていれば、同じ地層の過去の経験に基づけば安全側の初期設計検討が可能
- 許容安全率の決定において設計者はパラメータの信頼性・解析手法の精度を考慮する必要性
- 最も信頼できる安全率は同様の地層で過去に斜面崩壊した箇所の逆解析によって算出されたもの

6.1 The stability of soil and rock is a complex subject and it should be emphasised that failure to understand the engineering significance of the geological strata and groundwater is invariably a more important factor in slope failures than the method of stability analysis employed.

6.3 The Designer should develop an understanding and appreciation of the factors that affect slope stability by using analysis methods that can be done by hand before progressing to methods requiring a computer. Sophisticated computer programs and analysis techniques should only be used when the Designer understands the processes involved and is confident that it is the correct method for a particular situation. Search programs which locate the most critical slip surfaces can be valuable but the Designer must be aware of their limitations. Parametric studies are valuable to demonstrate likely variations in the calculated factor of safety due to a range of input parameters. Unless the soil parameters and water pressures have been accurately determined, sophisticated methods of analysis are not justified.

6.4 In determining acceptable factors of safety for slopes the designer must carefully consider the consequences of failure (ie risk to life or property), the reliability (and conservatism) of the parameters used in the analysis and the accuracy of the method of analysis. (Most methods are subject to error from effects such as, three dimensions, horizontal stresses, progressive failure etc). The most reliable factor of safety is likely to be that based on parameters derived from back analysis (by the same method) of a failed slope in the same soil strata.

HA 44/91 Design and Preparation of Contract Documents

KOBE UNIVERSITY

参考

Slope Stability Analysis（2）

- 粘土地盤では短期（建設中および建設直後）と長期（間隙水圧の平衡後）の双方の安定を検討
- 軟弱地盤上の盛土（載荷条件）の場合は短期の問題がcritical
- 固い粘土地盤切土（除荷条件）の場合は長期の問題がcritical
- 有効応力解析は透水性の高い土や粘性土の短期の安定問題に使用すべき
- 但し間隙水圧の適切な情報が必要
- よって初期評価の段階では非排水せん断強度に基づいた全応力法を用いるべき

6.5 In low permeability materials such as clays, the stability assessment must consider stability both in the short-term, during and immediately after construction, and in the long-term, when pore water pressure equilibrium has been achieved. Which condition proves the more critical is likely to depend largely on whether the ground is subjected to a net increase or decrease in loading by the construction. For an increase in loading, such as the construction of an embankment on a foundation of soft soil, the critical condition is likely to occur in the short-term. For unloading, as in the case of a cutting in stiff clay, long-term conditions are likely to prove the more critical.

6.6 Effective stress methods of analyses should be used for determining stability in more permeable (granular) soils and for assessing the long-term stability in cohesive soils. Effective stress analyses can also be used to assess the short-term stability in cohesive soils provided that adequate information is available on the pore water pressure regime. However, the prediction of pore water pressures during construction in cohesive materials is difficult and for preliminary assessments of stability, consideration should be given to the use of simpler total stress methods based on the undrained strength of the soil. An inherent assumption of such analyses is that no drainage occurs during the construction period. Measurements of undrained strength are often unrepresentative because of problems of rates of testing, confinement conditions and discontinuities in the soil and are likely to depend on the test method. Total stress methods are therefore likely to be most reliable in situations involving soft homogeneous soils.

HA 44/91 Design and Preparation of Contract Documents

参考

Slope Stability Analysis（3）

- 多くの安定解析手法の中から設計者が解析手法の長所・短所を良く理解した上で選択することを求めている。

6.7 There are various methods of stability analysis which may be used to estimate the factor of safety of a slope, most of which use variations of the 'method of slices'. The methods differ mainly in the manner in which interslice forces are considered and the shape of failure surface investigated. For circular shaped failure surfaces, the Swedish solution gives very conservative factors of safety when pore water pressures are present. The Bishop Simplified Solution can overestimate or underestimate the factor of safety for certain deep slip surfaces, but generally gives fairly accurate results. The simple method of Greenwood and the simplified method of Morrison and Greenwood may be used for circular shaped failure surfaces and slip surfaces of arbitrary shape. Suitable methods for slip surfaces of arbitrary shape include Janbu Simplified Method, with correction factors as necessary; Janbu Rigorous Method; Morgenstern and Price, although considerable experience and judgement is required to use this method reliably; and Spencer's Method which was originally devised for circular failure surfaces but has been adapted for non-circular failure surfaces. The infinite slope analysis is best used for extensive planar slips where the slip surface is approximately parallel to the ground surface and the influence of the toe and head portions of the slide is negligible. References to the above methods are given in Chapter 14.

「円弧すべり法によって，安全率を1.2以上」などといった記述はない

HA 44/91 Design and Preparation of Contract Documents

1. EUの戦略　Eurocodeの世界標準（EU統合で得た普遍性を武器に）

1）設計や施工に関連したリスクの評価と分担（責任の所在の明確化）

2）新たな設計法や施工法の認証システム（新しい技術の積極的な導入が可能）

3）設計責任と保険制度

2. 英国　公共投資が過去12年間で2.8倍の上昇

PFI型の契約が主流. Design Build Finance and Operate Contracts (DBFO)

・クライアント側のコンサルタンツが概略設計を行い、入札の準備を行う

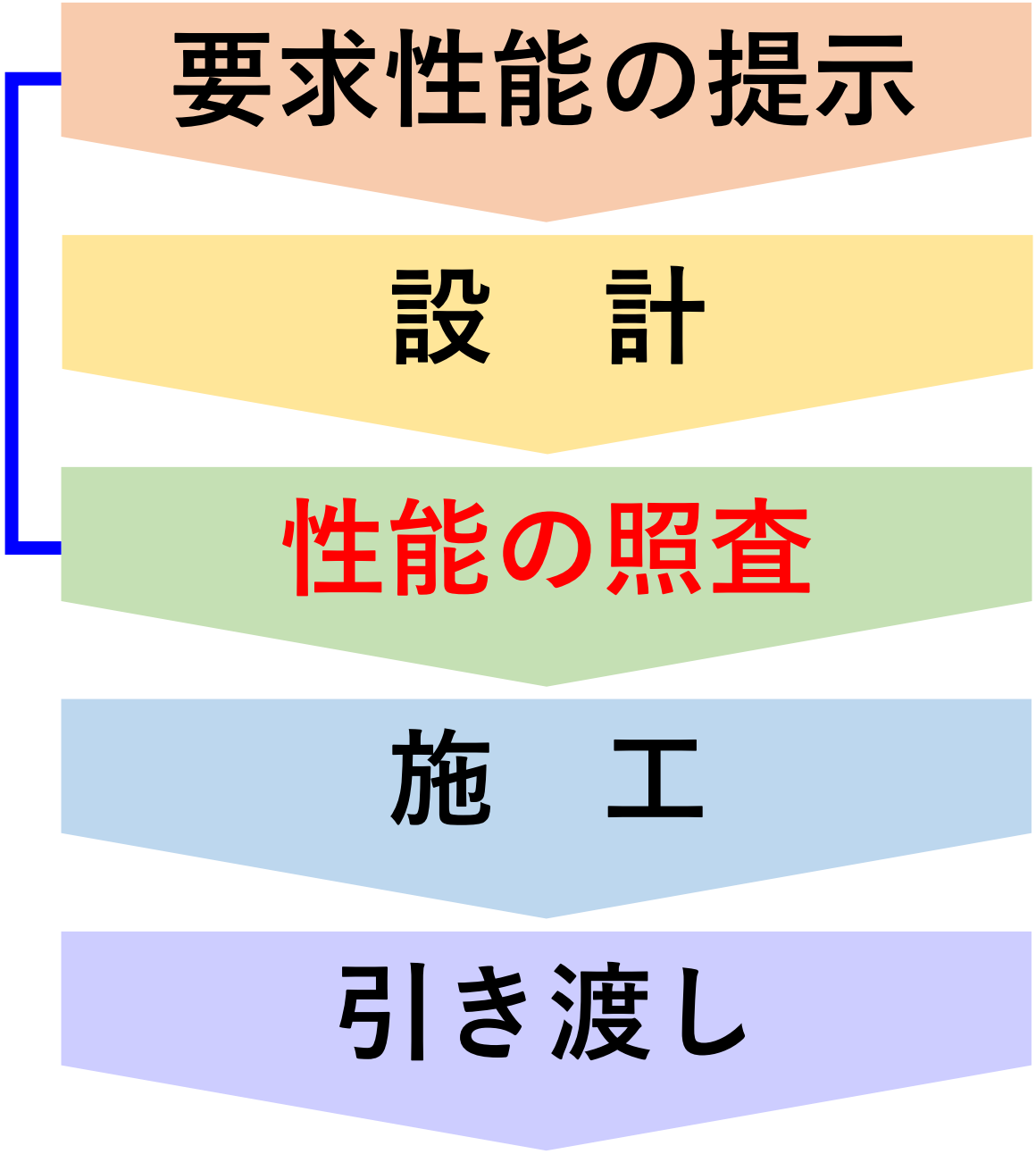
・競争入札を、民間金融会社に対して行う. 応札する民間金融会社は入札用の設計を行う

・落札者は詳細設計とプロジェクトの実施を担う

・運営権（concession）を保有する会社が運営. 通常、権利保有期間は30年から60年.

・権利期間完了後に、クライアントに引き渡す

性能設計 シーケンス



性能設計：脱マニュアル化→現象の正しい理解と合理的対処（技術力が問われる世界）

鍵は「性能の照査」

リスクの最小化←リスクの定量化とシナリオを尽す

性能設計の眼目は，「合理的にリスクを最小化」することにある

↓

Q1
どうやって（合理的に）シナリオを尽くせば良いのか

リスクとは：事象（event）の発生確率と事象の結果との組み合わせ．
ある場合には期待した成果からの偏差（ISO/IEC Guide 73-2002)

土構造物の性能設計
におけるリスク対処

リスクの分散：

ART（Alternative Risk Transfer)，デリバティブ，証券化

リスクの定量化：

予測解析，沈下・変形

第3者認証

リスクの定量化：確率による記述

シンガポール地下鉄掘削事故(2004.4.20）

Q2　性能設計シーケンスの課題
例：土構造物の場合

- 要求性能の提示
- 設計：
- 性能の照査：
- 施工：
- 引き渡し：

「予測」が求められる

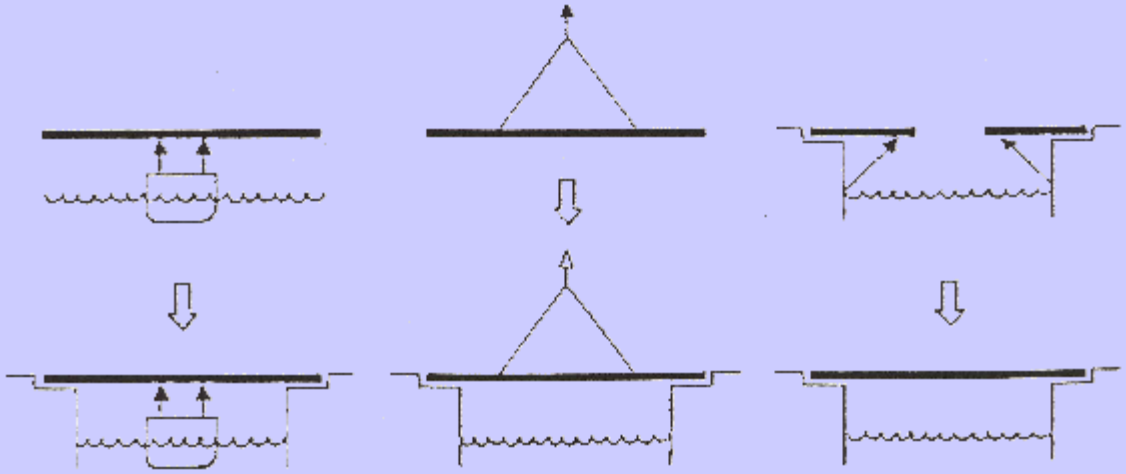
照査技術

土構造物の性質

履歴依存

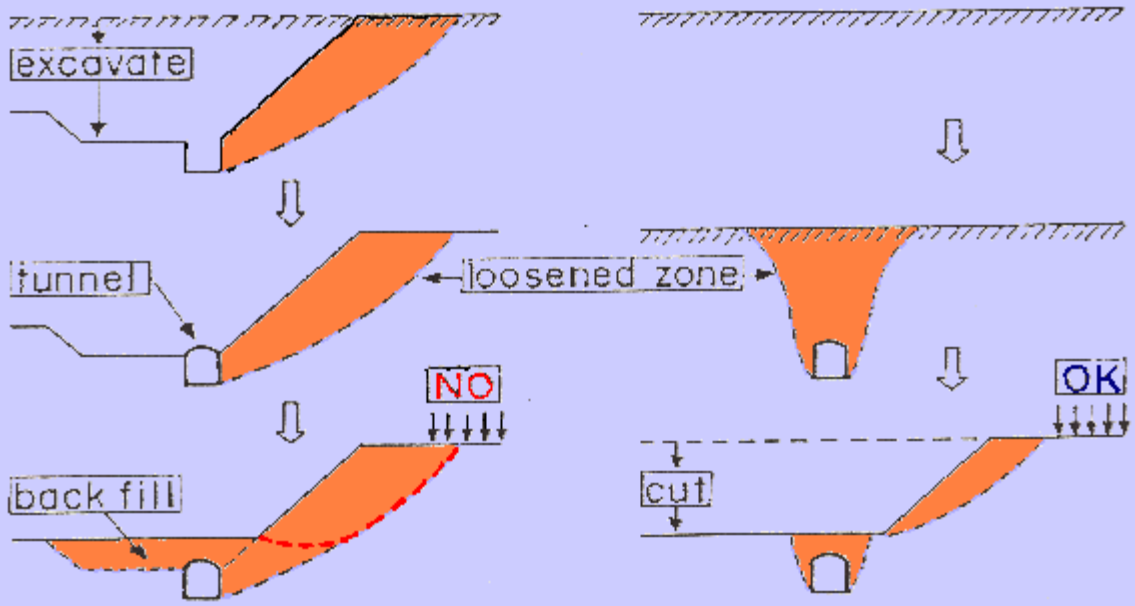
＋

非可逆



three elastic bridges are equally qualified

(a) elastic (recoverable)



two inelastic soil slopes are not equally qualified

(b) inelastic (irreversible)

解析（予測）をやってみる

-対象平面図-

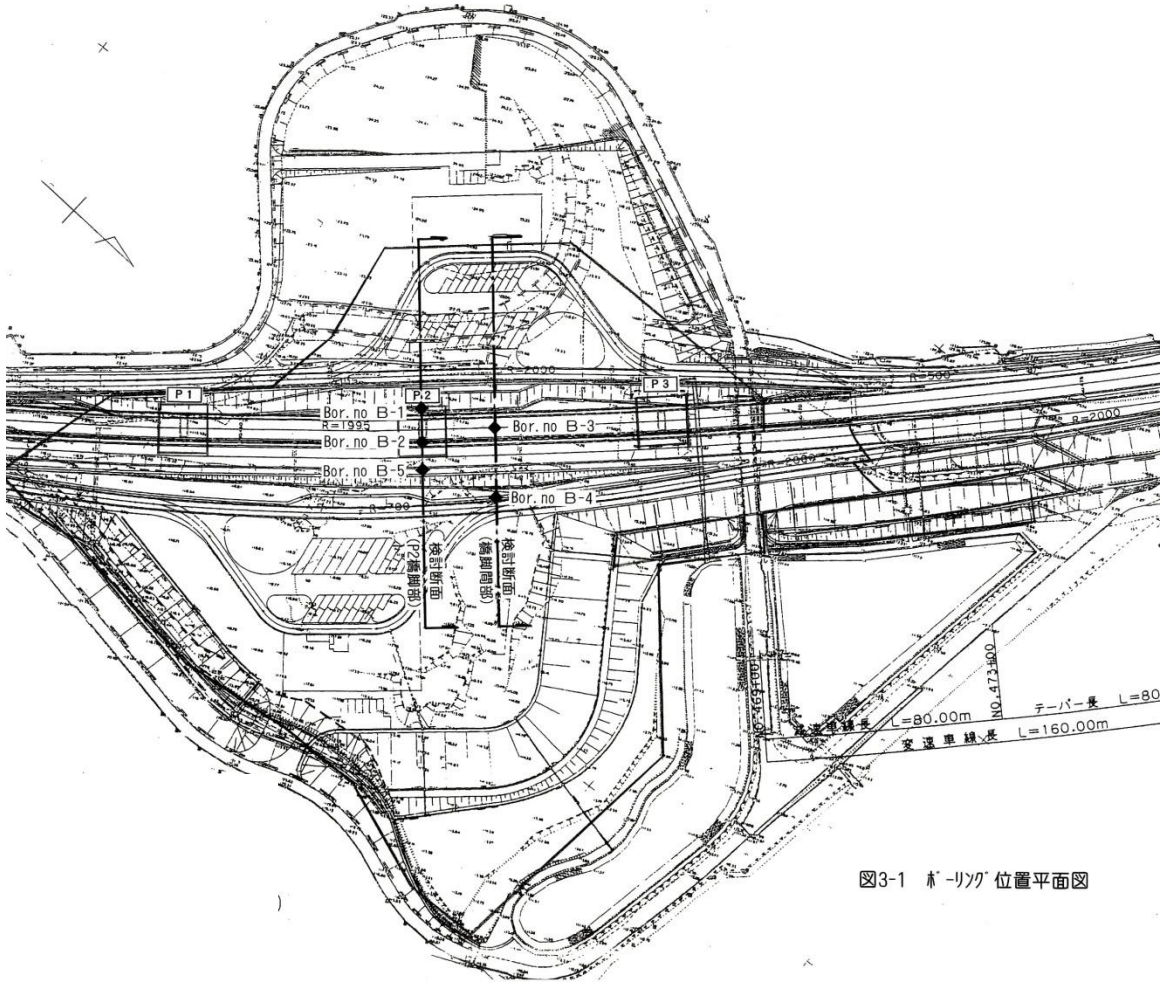
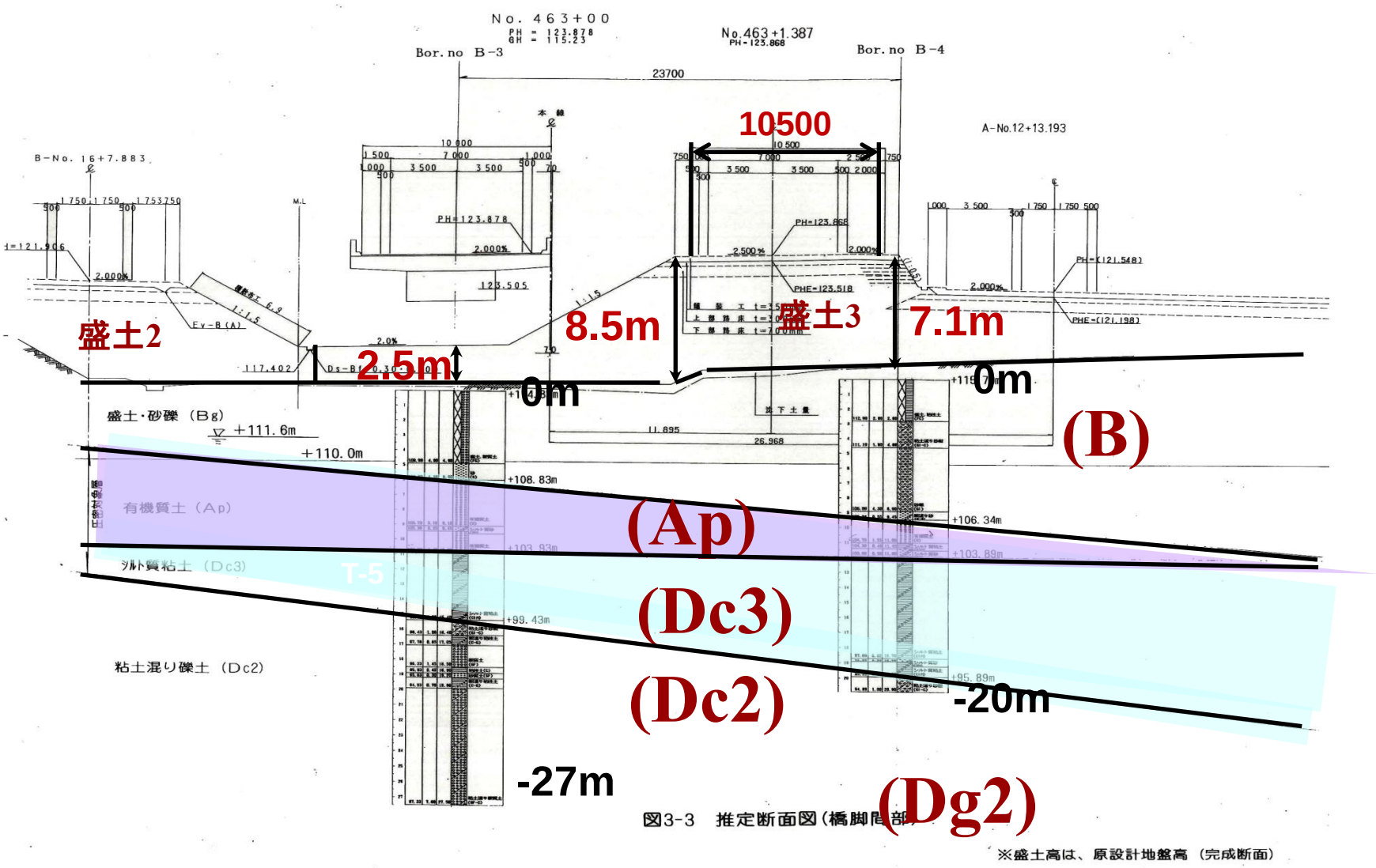


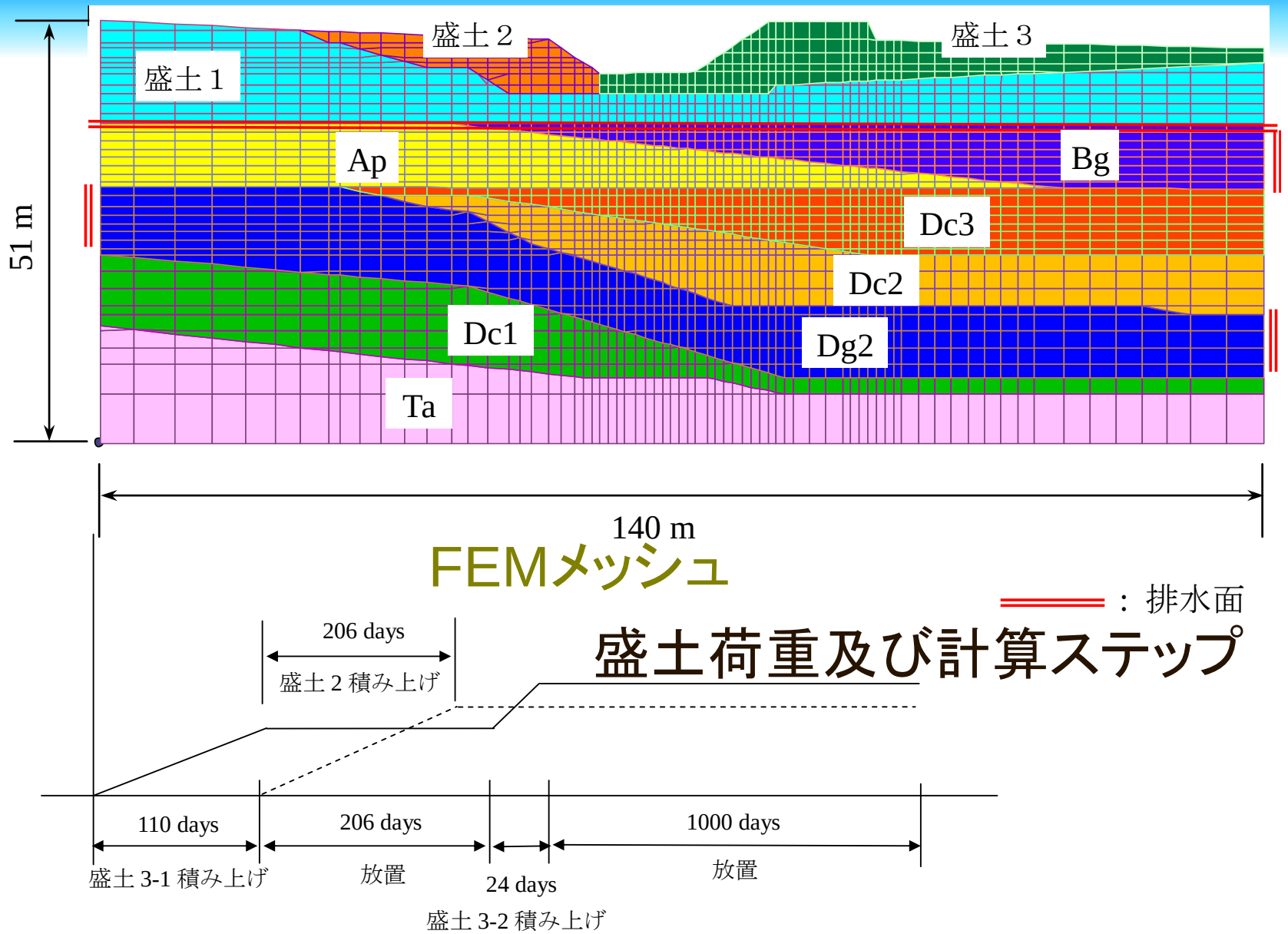
図3-1 ボーリング位置平面図

引用：地盤工学会関西支部「土構造物の品質評価に関する検討委員会」平野WG

- 解析断面横断図 -



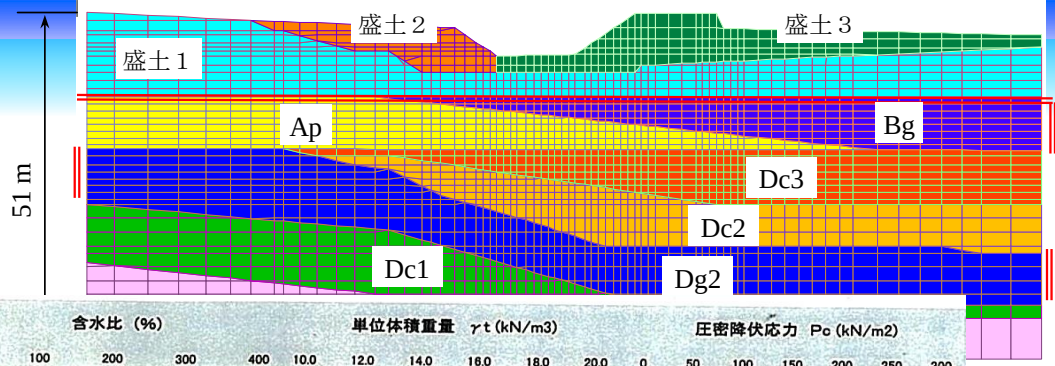
引用：地盤工学会関西支部「土構造物の品質評価に関する検討委員会」平野WG

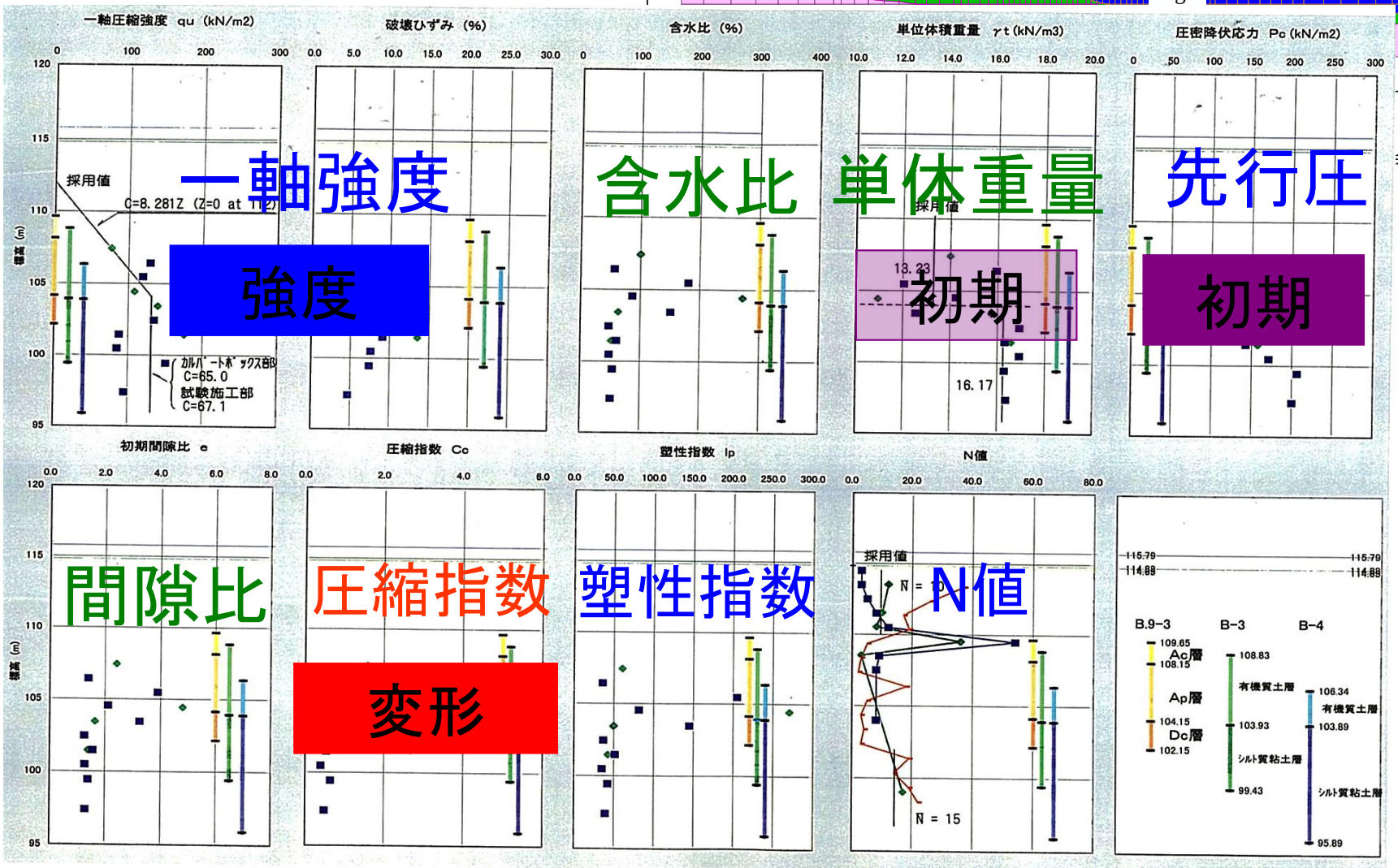


引用：地盤工学会関西支部「土構造物の品質評価に関する検討委員会」平野WG

土質調査

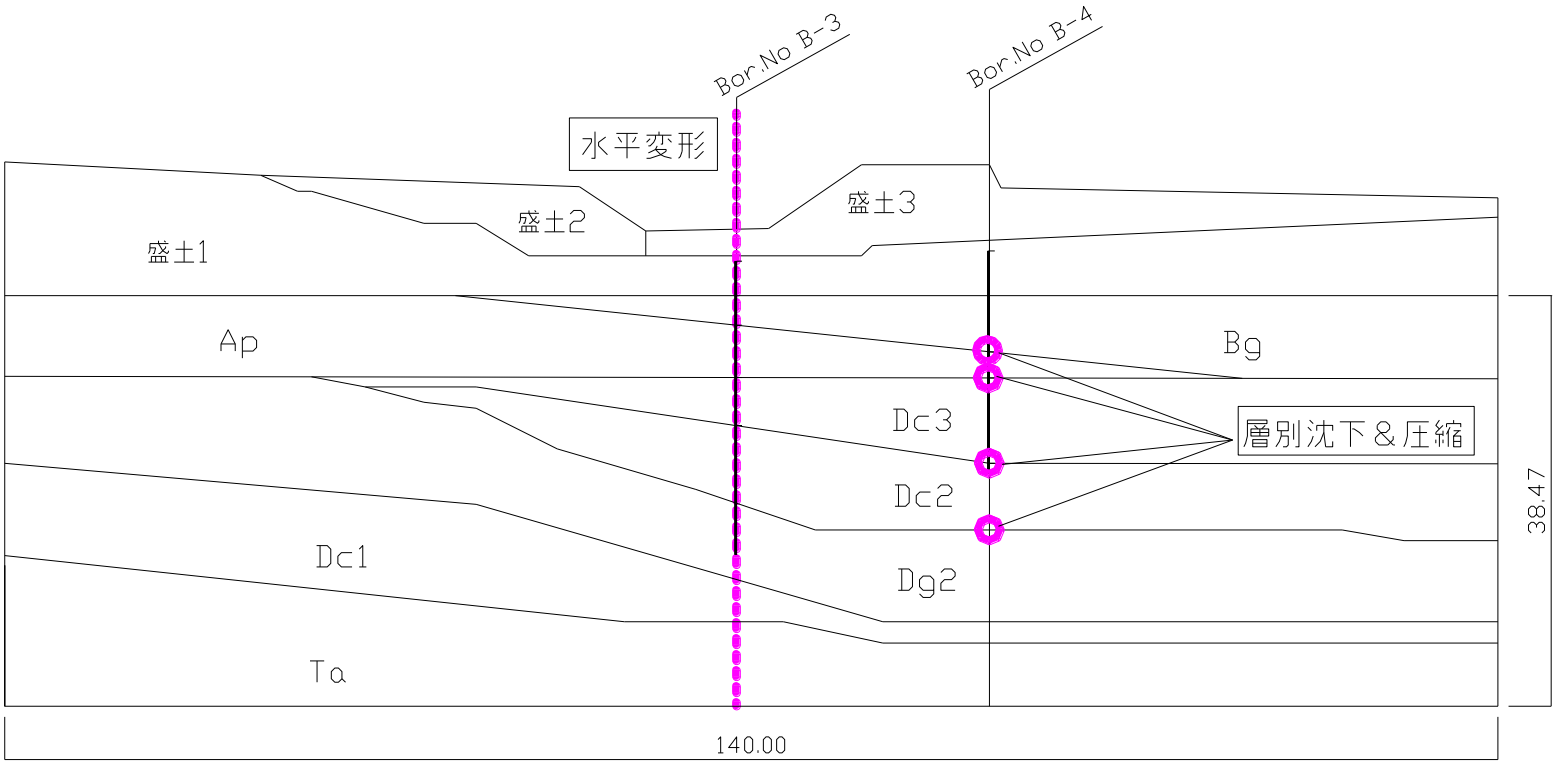
-事前調査-


盛土２
盛土３
盛土１
Ap
Bg
Dc3
Dc2
Dc1
Dg2
51 m


一軸圧縮強度 qu (kN/m2)
破壊ひずみ (%)
含水比 (%)
単位体積重量 γt (kN/m3)
圧密降伏応力 Pc (kN/m2)
初期間隙比 e
圧縮指数 Cc
塑性指数 Ip
N値
採用値
C=8.281Z (Z=0 at 112)
カルバートボックス部
C=65.0
試験施工部
C=67.1
13.23
16.17
N = 15
B.9-3
B-3
B-4
Ac層
Ap層
Dc層
有機質土層
シルト質粘土層
一軸強度
強度
含水比
単体重量
初期
先行圧
初期
間隙比
圧縮指数
変形
塑性指数
N値

水面

実測値との比較位置



引用：地盤工学会関西支部「土構造物の品質評価に関する検討委員会」平野WG

結果の比較

沈下量　unit:cm

	弾性	弾塑性(1)	弾塑性(2)	弾粘塑性	計測
Ap層	14	16	17	29	32
Dc3層	22	26	23	38	77
小計	36	42	40	67	109

水平変位量　unit:cm

	弾性	弾塑性(1)	計測
Ap層	3	9	3
Dc3層	2	6	0
max	3	9	18（地表部）

引用：地盤工学会関西支部「土構造物の品質評価に関する検討委員会」平野WG

入力パラメータの設定 → 弾(粘)塑性・土／水FEM解析 → 解析結果

・境界条件：

形状(変化)

・初期条件：

初期応力，初期水圧

・材料定数：

変形特性，透水特性

・数学モデル

構成モデル

・***増分ステップ***

釣り合い，

連続条件

・***メッシュ***

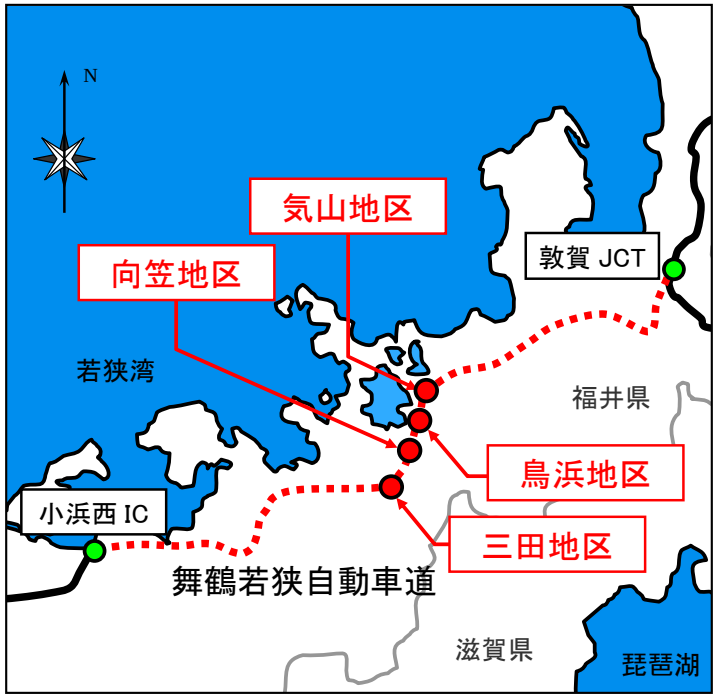
・構造モデル

調査 → 予測

では，どう行えば良いか？　役に立つ予測の実例

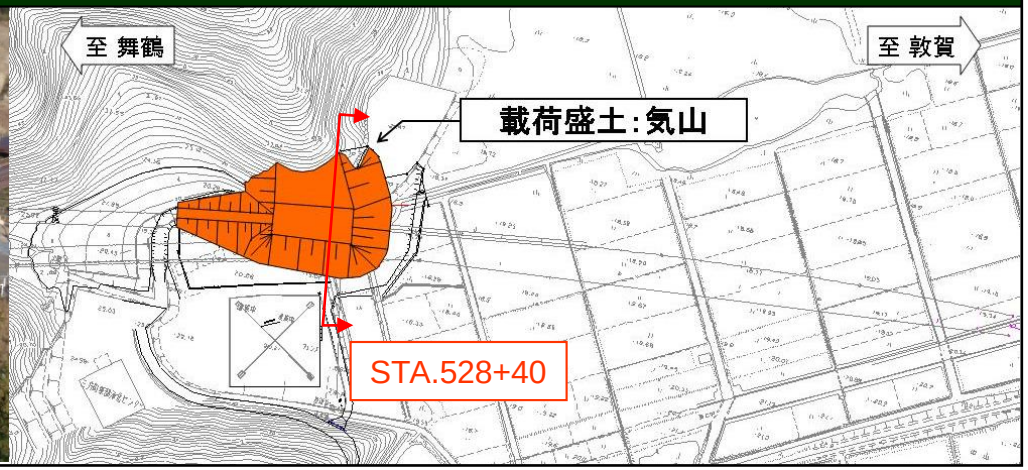
舞鶴若狭自動車道 若狭工事の概要

舞鶴若狭自動車道において、現在施工中の福井県小浜西IC～敦賀JCT（約50km ）のほぼ中間点、福井県三方上中郡若狭町内の約10kmにわたる範囲に点在する4地区に9箇所の載荷盛土を施工する工事.

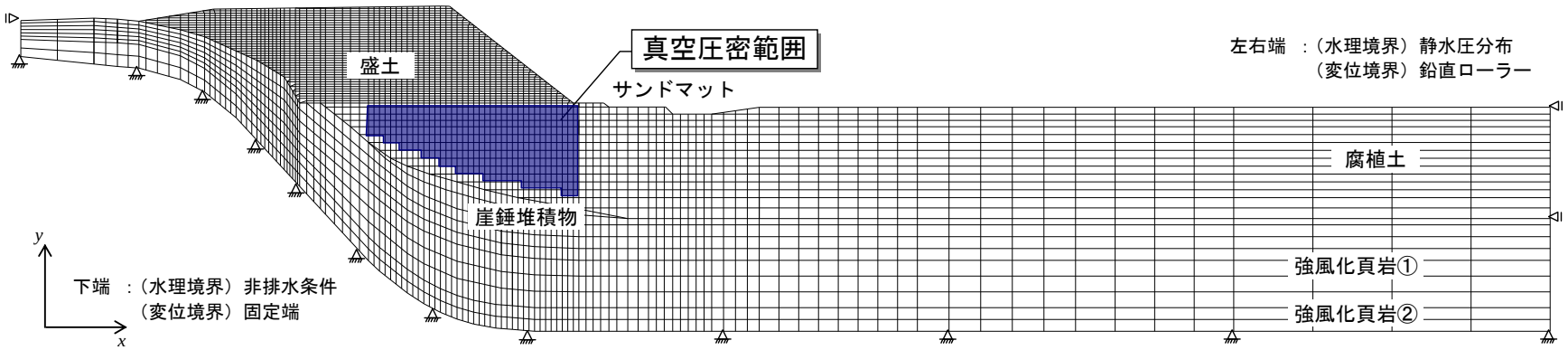


FEM解析～気山載荷盛土

気山地区：気山載荷盛土



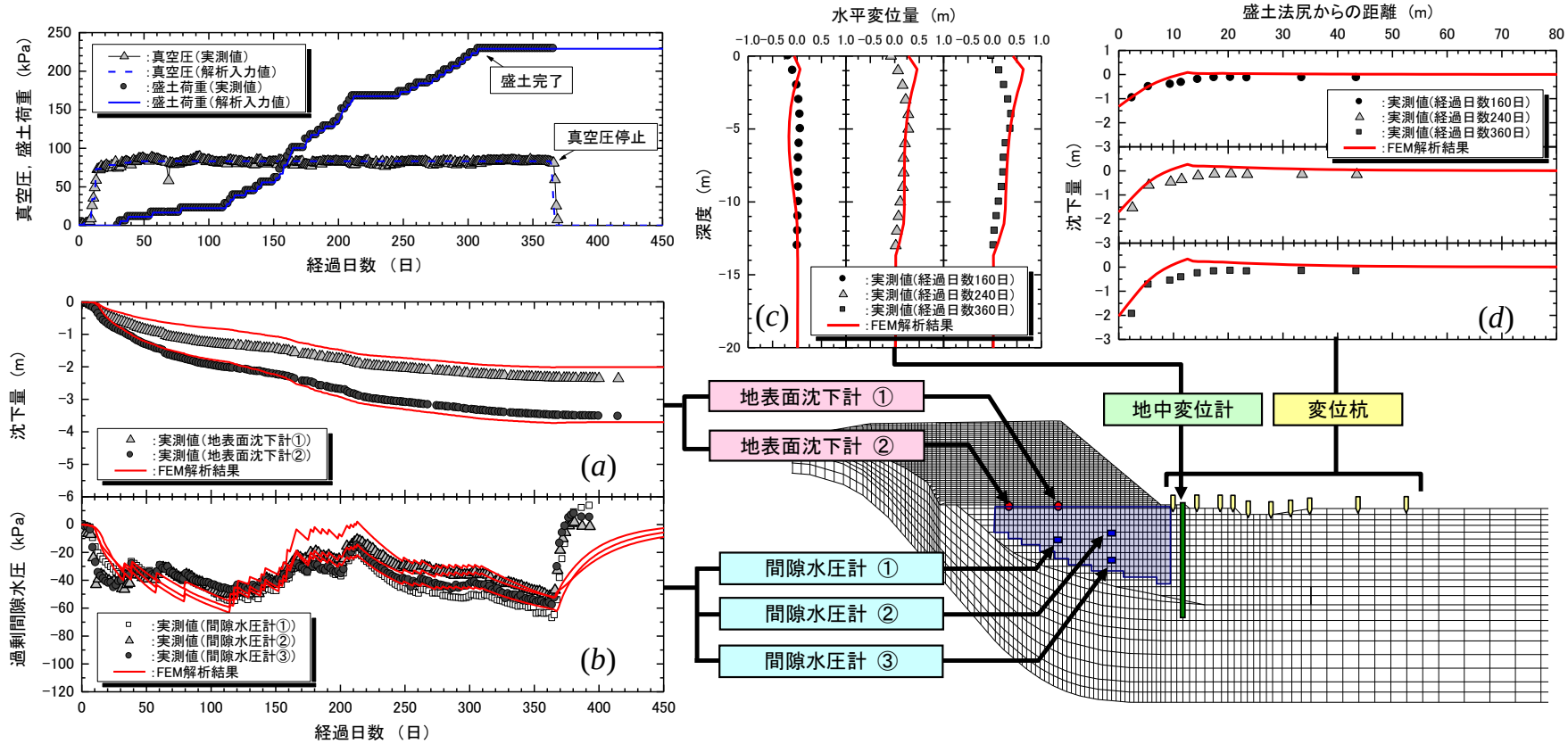
FEM解析に用いたメッシュ図～気山載荷盛土（ STA.528+40）



FEM解析～気山載荷盛土

解析結果と動態観測結果の比較

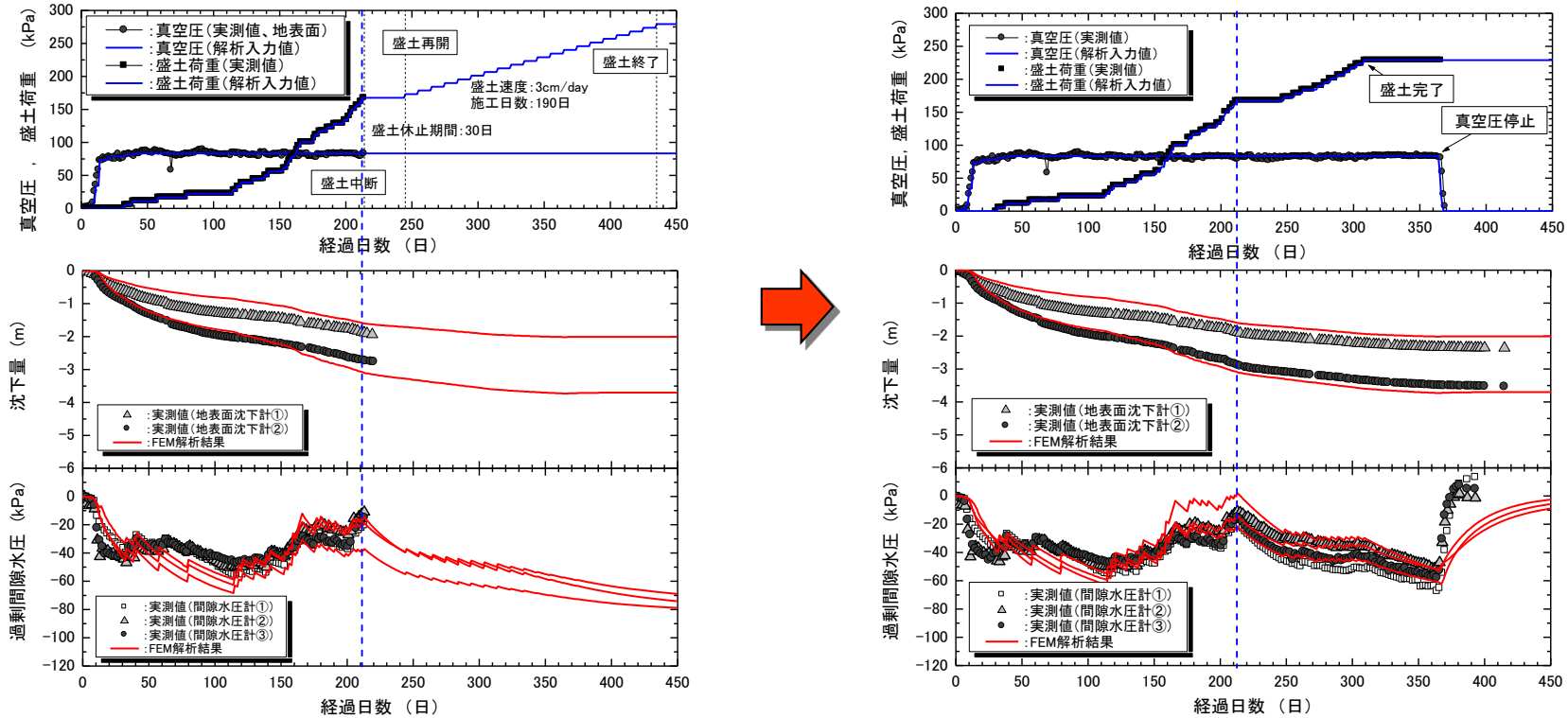
FEM解析結果と動態観測結果の比較～気山載荷盛土（ STA.528+40）



FEM解析結果を用いた検討事例

動態観測結果とのキャリブレーション（ランクB予測）を実施することにより，今後の変形量や沈下量を精度良く予測することが可能.

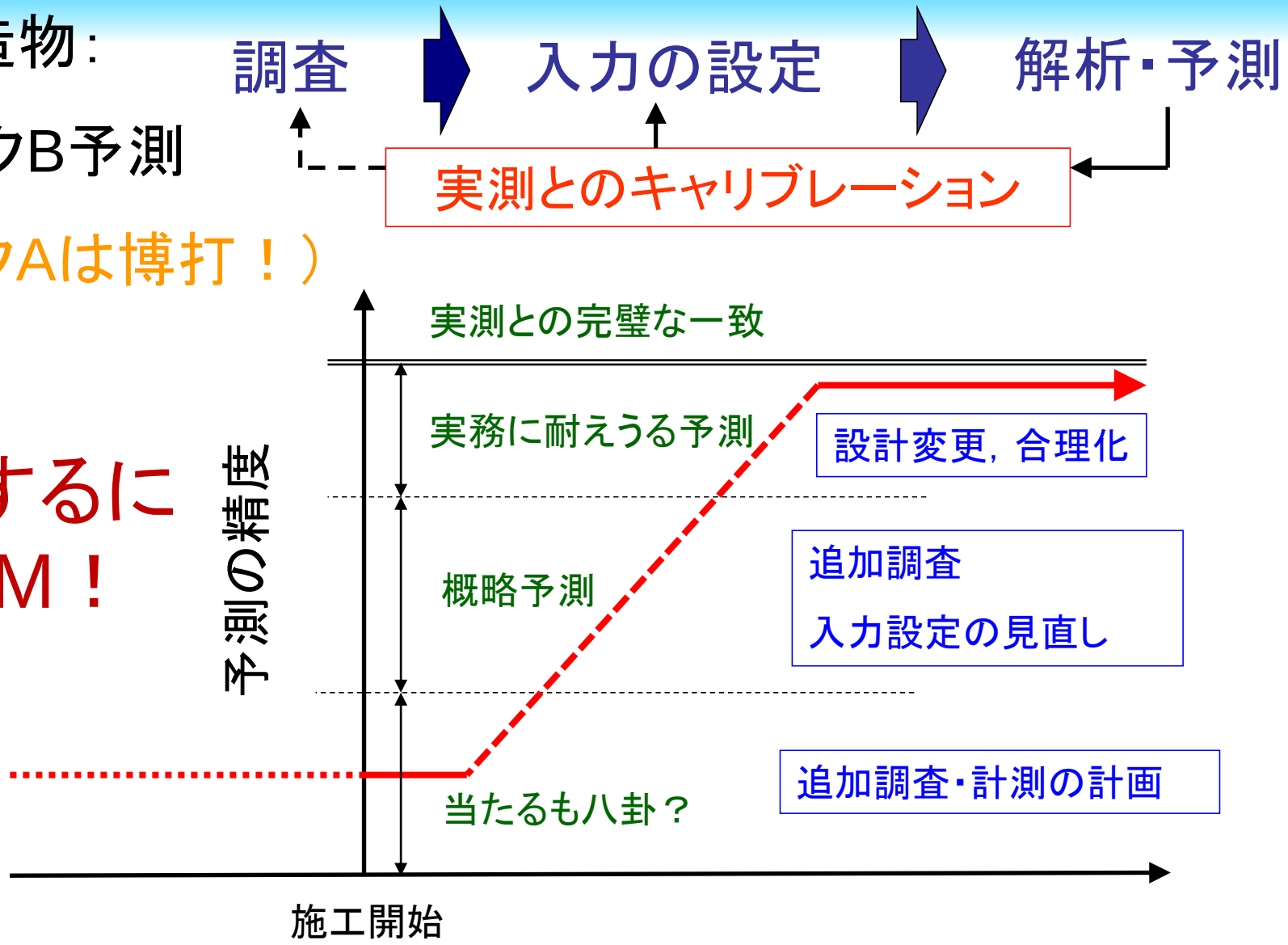
気山載荷盛土の沈下量予測（STA.528+40）



土構造物:

ランクB予測

（ランクAは博打！）



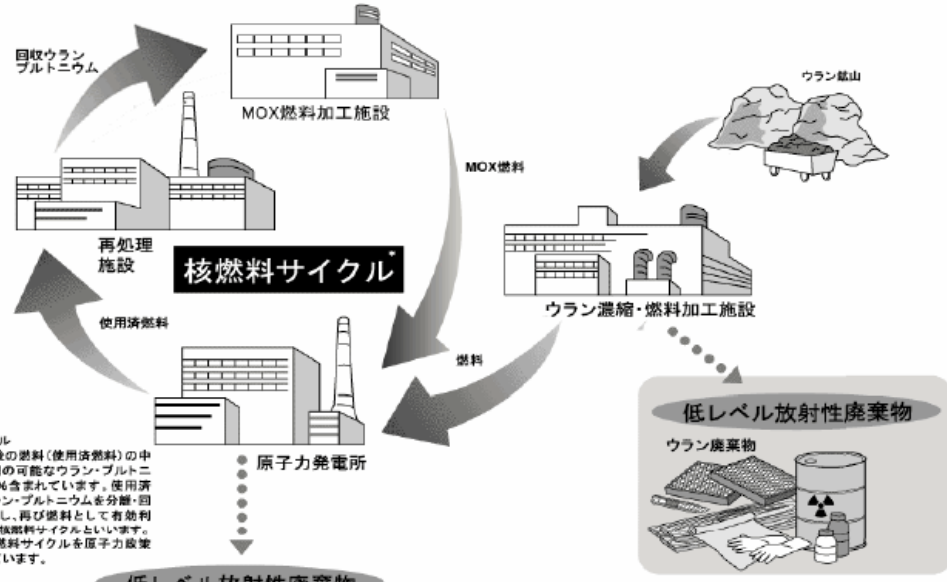
要するにOM！

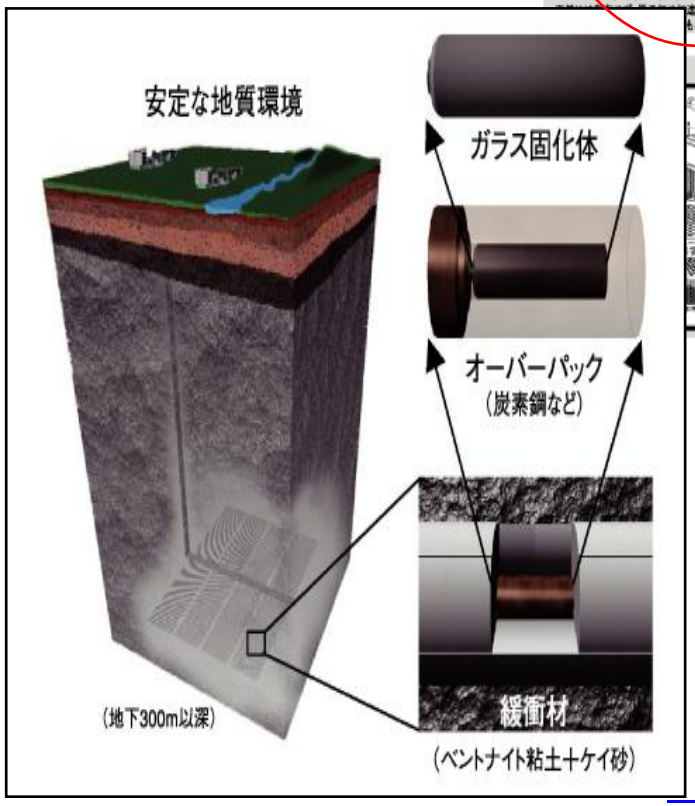
時間：実測とのキャリブレーション

放射性廃棄物に目を転じると

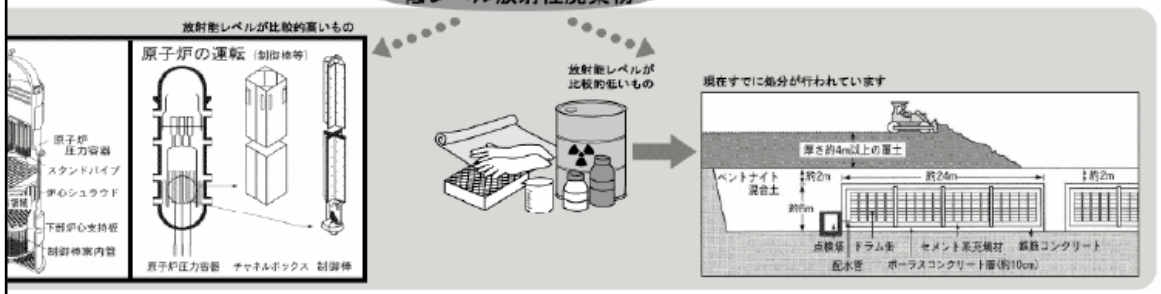
放射性廃棄物処理

使用済燃料を再処理した後の廃液





地層処分



わが国における核燃料サイクル
(資源エネルギー庁放射性廃棄物HP)

地層処分場建設:2.5兆円/1基～3.5兆円/1基

最先端技術のかたまり

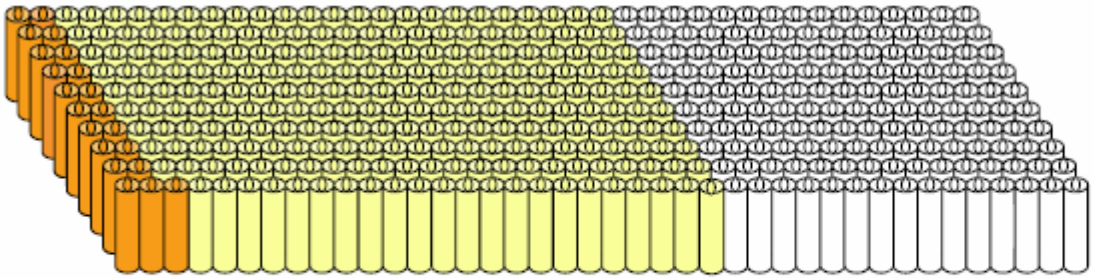
高レベル放射性廃棄物の発生量

貯蔵管理中
2,167 本
(平成26年4月時点)

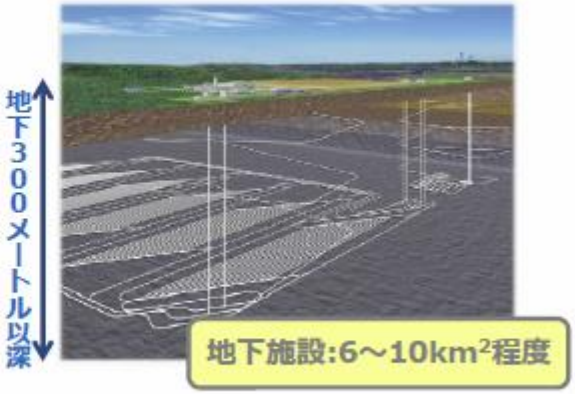
既に
約 25,000 本相当
(平成26年４月時点)

原子力発電所の稼働
状況に応じて増加

NUMOでは、
40,000 本以上のガラス固化体を処分できる施設を計画中



= ガラス固化体 １００本



□ **処分費用** **約３.5兆円** ※高レベル放射性廃棄物（2.8兆円）とＴＲＵ廃棄物（0.7兆円）の合計

NUMO見積もり

世界の原子力発電所（2014.1現在）

運転中　426基
建設中　　81基
　米国5，フランス1，日本4，ロシア11，韓国5，中国31，ウクライナ2，台湾2，インド7，フィンランド1，ブラジル1，ルーマニア3，アルゼンチン1，パキスタン2，アラブ首長国連邦2，ベラルーシ1
計画中　100基
　米国5，日本8，ロシア17，韓国4，中国23，英国2，インド6，チェコ2，フィンランド2，ブルガリア1，イラン1，パキスタン2，アラブ首長国連邦2，ベラルーシ1，トルコ8，インドネシア4，ベトナム4，バングラディッシュ2，エジプト2，リトアニア1，ヨルダン1，イスラエル1，カザフスタン1

新規導入計画/建設中の6割がアジア
福島第一事故後であっても，導入ラッシュの様相

アジア・中東だけで110基分（15カ国）の放射性廃棄物処理（日本を除く）
地層処分建設　3兆円×15カ国=45兆円＋α規模
世界では，3兆円×42カ国=126兆円＋α規模

2014年1月1日現在、(万kW、グロス電気出力)
As of January 1, 2014 (10MWe, Gross Output)

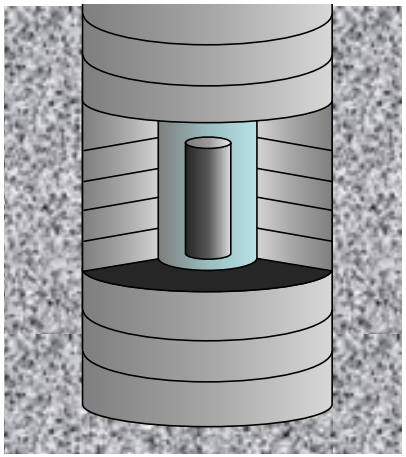
	国・地域	運転中 In Operation		建設中 Under Construction		計画中 Planned		合計 Total		Country Region
		出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	
1	米国	10,328.4	100	560.0	5	626.0	5	11,514.4	110	U.S.A.
2	フランス	6,588.0	58	163.0	1			6,751.0	59	France
3	日本*	4,426.4	48	442.1	4	1,158.2	8	6,026.7	60	Japan*
4	ロシア	2,519.4	29	1,026.0	11	1,744.5	17	5,289.9	57	Russia
5	韓国	2,071.6	23	660.0	5	560.0	4	3,291.6	32	Korea
6	中国	1,478.8	17	3,386.6	31	2,616.8	23	7,482.2	71	China
7	カナダ	1,424.0	19					1,424.0	19	Canada
8	ウクライナ	1,381.8	15	200.0	2			1,581.8	17	Ukraine
9	ドイツ	1,269.6	9					1,269.6	9	Germany
10	英国	1,086.2	16			326.0	2	1,412.2	18	United Kingdom
11	スウェーデン	942.8	10					942.8	10	Sweden
12	スペイン	739.7	7					739.7	7	Spain
13	ベルギー	619.4	7					619.4	7	Belgium
14	台湾	524.8	6	270.0	2			794.8	8	Taiwan
15	インド	478.0	20	530.0	7	670.0	6	1,678.0	33	India
16	チェコ	415.2	6			200.0	2	615.2	8	Czech
17	スイス	346.0	5					346.0	5	Switzerland
18	フィンランド**	286.0	4	172.0	1	220.0	2	678.0	7	Finland**
19	ブルガリア	200.0	2			100.0	1	300.0	3	Bulgaria
20	ハンガリー	200.0	4					200.0	4	Hungary
21	ブラジル	199.2	2	140.5	1			339.7	3	Brazil
22	スロバキア	195.0	4	94.2	2			289.2	6	Slovakia
23	南アフリカ	194.0	2					194.0	2	South Africa
24	ルーマニア	141.0	2	211.8	3			352.8	5	Romania
25	メキシコ	136.4	2					136.4	2	Mexico
26	アルゼンチン	100.5	2	74.5	1			175.0	3	Argentina
27	イラン	100.0	1			38.5	1	138.5	2	Iran
28	パキスタン	78.7	3	68.0	2	220.0	2	366.7	7	Pakistan
29	スロベニア	72.7	1					72.7	1	Slovenia
30	オランダ	51.2	1					51.2	1	Netherlands
31	アルメニア	40.8	1					40.8	1	Armenia
32	アラブ首長国連邦			280.0	2	280.0	2	560.0	4	UAE
33	ベラルーシ			120.0	1	120.0	1	240.0	2	Belarus
34	トルコ					920.0	8	920.0	8	Turkey
35	インドネシア					400.0	4	400.0	4	Indonesia
36	ベトナム					400.0	4	400.0	4	Vietnam
37	バングラデシュ					200.0	2	200.0	2	Bangladesh
38	エジプト					187.2	2	187.2	2	Egypt
39	リトアニア					138.4	1	138.4	1	Lithuania
40	ヨルダン					100.0	1	100.0	1	Jordan
41	イスラエル					66.4	1	66.4	1	Israel
42	カザフスタン					N/A	1	N/A	1	Kazakhstan
	合　計 (前年値)	38,635.6 (38,823.4)	426 (429)	8,398.7 (7,771.7)	81 (76)	11,292.0 (11,091.0)	100 (97)	58,326.3 (57,686.1)	607 (602)	Total (previous year)

N/A; Not Available (The output is unknown. 出力不明)

例：ベントナイト緩衝材の安全性評価
照査技術の開発

力学
- 飽和化
- 膨潤圧の発生
- 密度変化／変形

熱力学
- 崩壊熱の発生
- 熱拡散



不飽和／飽和浸透
- 地下水の浸潤
- 飽和度分布の変化
- 水圧・空気圧分布の変化
- 封入空気の局所化

化学
- 鉱物の変質・溶解
- 地下水組成の変化

物質の移流／拡散
- 核種の拡散
- 核種の沈着

想定される現象を説明するための理論的フレームワーク

KOBE UNIVERSITY

地層処分関連の国際研究プロジェクト(EU)

ANNETTE

- Advanced Network for Nuclear Education, Training and Transfer of Expertise
Project dates: 01/01/2016 – 31/12/2019
Total budget: 3.18 million Euros (EU Horizon 2020)

BEACON

- Bentonite Mechanical Evolution
Project dates: 01/06/2017 – 31/05/2021
Total budget : 4.05 million Euros (EU Horizon 2020)

CAST

– Carbon-14 source Term
Project dates: 01/10/2013 – 31/03/2018
Total budget : 14.73 million Euros (EU Horizon 2020)

CEBAMA

– Cement-based materials, properties, evolution, barrier functions
Project dates: 01/06/2015 – 31/05/2019
Total budget : 5.95 million Euros (EU Horizon 2020)

CHANCE

– Characterisation of Conditioned Nuclear Waste for its Safe Disposal in Europe
Project dates: 01/06/2017 – 31/05/2021
Total budget : 4.25 million Euros (EU Horizon 2020)

DISCO

– Modern Spent Fuel Dissolution and Chemistry in Failed Container Conditions
Project dates: 01/06/2017 – 31/05/2021
Total budget : 4.69 million Euros (EU Horizon 2020)

MIND

– Microbes In Nuclear waste Disposal
Project dates: 01/06/2015 – 31/05/2019
Total budget : 4.71 million Euros (EU Horizon 2020)

Modern2020

– Development and Demonstration of monitoring strategies and technologies
Project dates: 01/06/2015 – 31/05/2019
Total budget : 9.66 million Euros (EU Horizon 2020)

THERAMIN

– Thermal treatment for radioactive waste minimization and reduction
Project dates: 01/06/2017 – 31/05/2020
Total budget : 3.97 million Euros (EU Horizon 2020)

Source: https://igdtp.eu/

「地層処分技術」は
格好の海外展開案件！？

Q3　技術開発投資の回収
→国際（技術）競争力

Q1　どうやって（合理的に）シナリオを尽くせば良いのか
　　ICTを用いた想定外をなくす多数シナリオの自動化

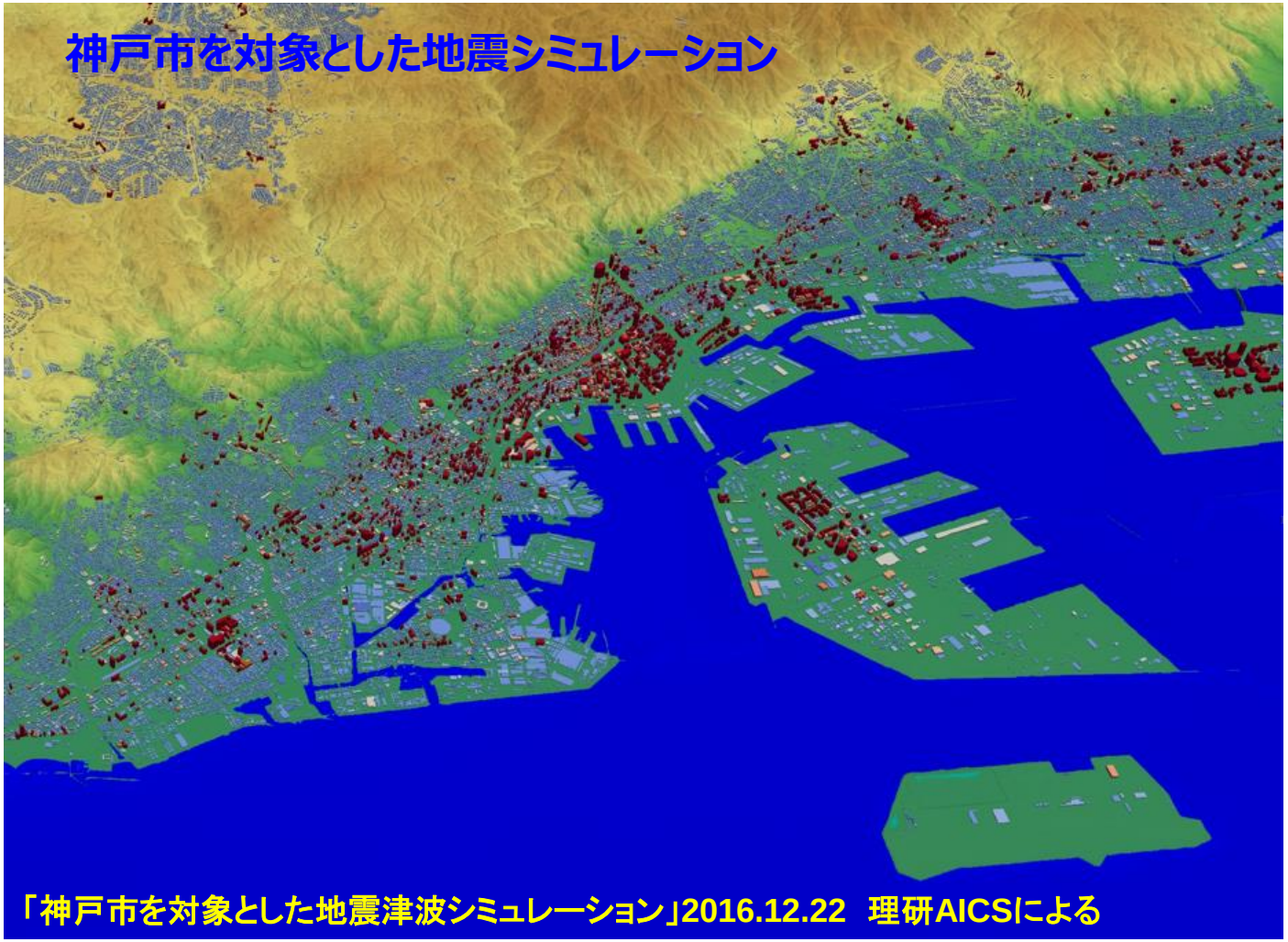
Q2　性能設計シーケンスの課題
　　OMばかりに頼らない照査技術のV&V（verification and validation）

Q3　技術開発投資の回収（国際的技術競争力）
　　説明力，俯瞰力の獲得（可視化技術）
　　海外展開

ひとつの処方箋

ICTをベースとしたシミュレーション統合化技術の活用

都市丸ごとのシミュレーション技術
（都市丸ごとをコンピュータの仮想空間内に再現）



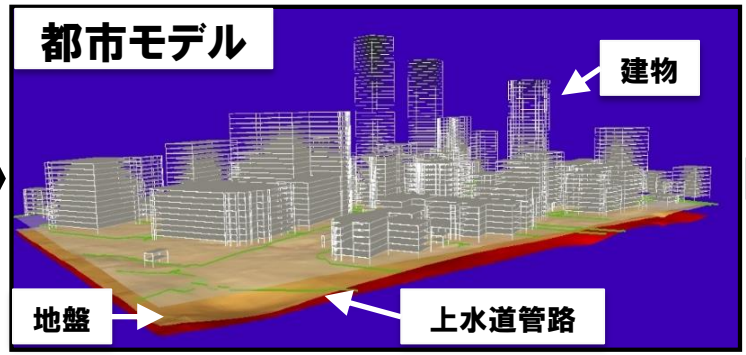
都市まるごとのシミュレーション技術

大規模シミュレーションのための次世代都市モデルの自動構築

資産台帳など

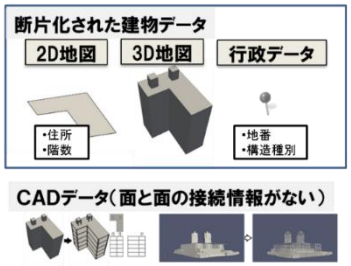
都市データ

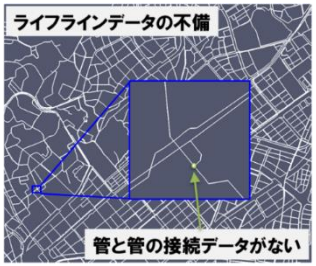
自動構築



解析プログラム

・地震・津波
・風・水害
・避難
・物流移動
・・・
各種シミュレーション





モデル構築に必要なのは・・・

・断片化した情報の統合
(地図情報の要素の関連付け)
(複数レイヤーをオブジェクトへ)
・計算に必要な情報の補完

データ駆動型技術開発

Copyright 東大地震研, AICS, R-CCS

都市モデルの高度化（1）

データソース

構造物関連
- 住宅地図データ
- GISデータ
- 設計CAD図
- 設計基準類 etc.

道路関連
- 座標/リンク
- 属性
- 規格
- 幅　etc.

地盤関連
- 標高
- 柱状図，N値
- AVS30 etc.

データ変換

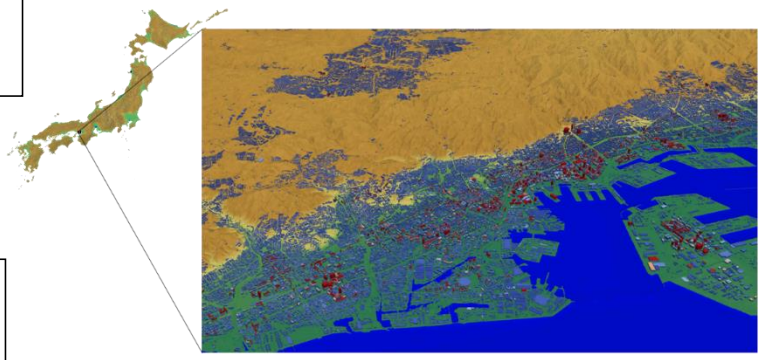
DPP

- 座標データ
- 形状データ
- 属性データ
  （年代，構造種別…）

設計基準に応じた応答解析用モデル自動計算（構造性能，非線形履歴…）

モジュールの入れ替え容易な形で並列化

全国約6000万棟の建物擬似データの自動モデル構築が数時間で可能に



より詳細な構造物データが利用できるようになると，より高度な解析モデルが自動構築され，より信頼度の高い地震応答解析が全国一律で実現

飯山かおり（東工大）

都市モデルの高度化（2）

設計図面からの３次元構造体自動構築

データソース

構造物関連
・住宅地図データ
・GISデータ
・設計CAD図
・設計基準類 etc.

道路関連
・座標/リンク
・属性
・規格
・幅　etc.

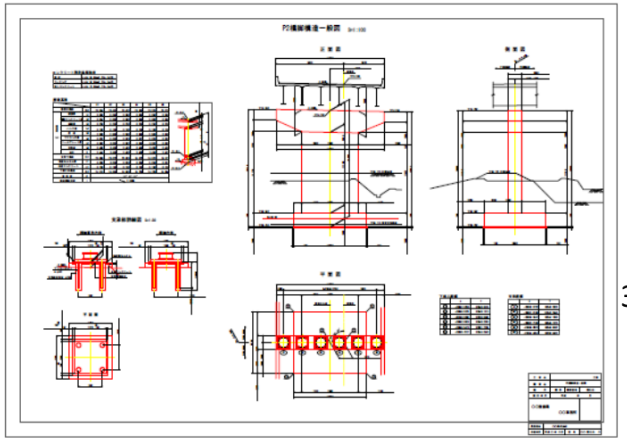
地盤関連
・標高
・柱状図，N値
・AVS30 etc.

DPP

自動データ抽出

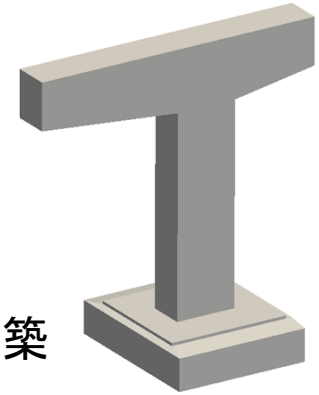
- 線
- 文字配置
- 図面種類　等

３次元モデル自動構築
認識段階に応じた要素の意味付け・構造化



例：設計図面

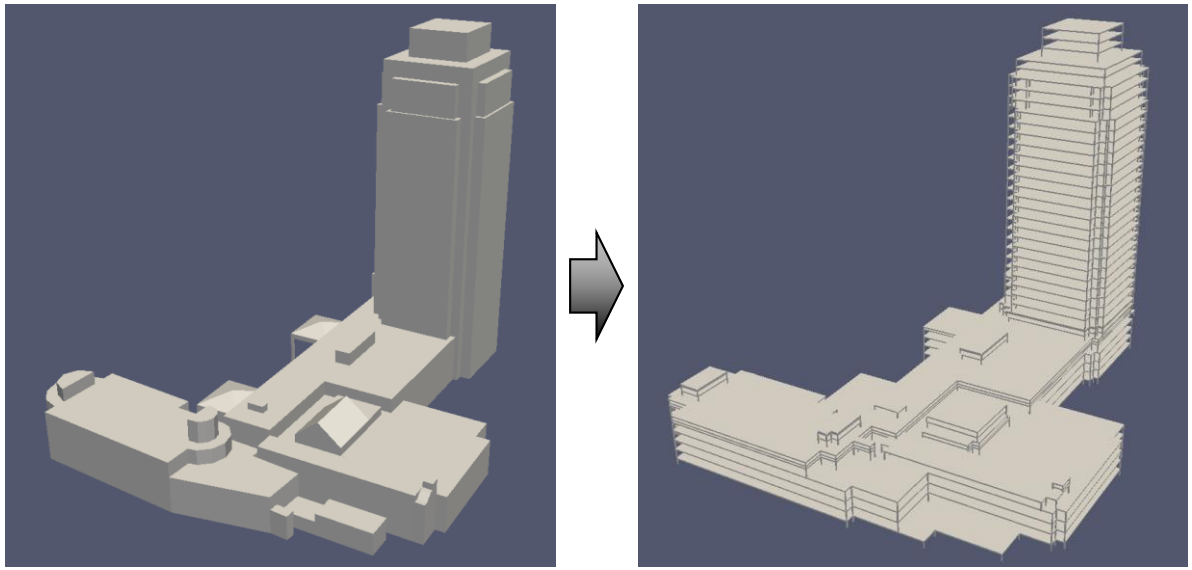
3次元化
自動構築



飯山かおり（東工大）

建物の自動同定技術

Use of 3D map: Application example of template fitting

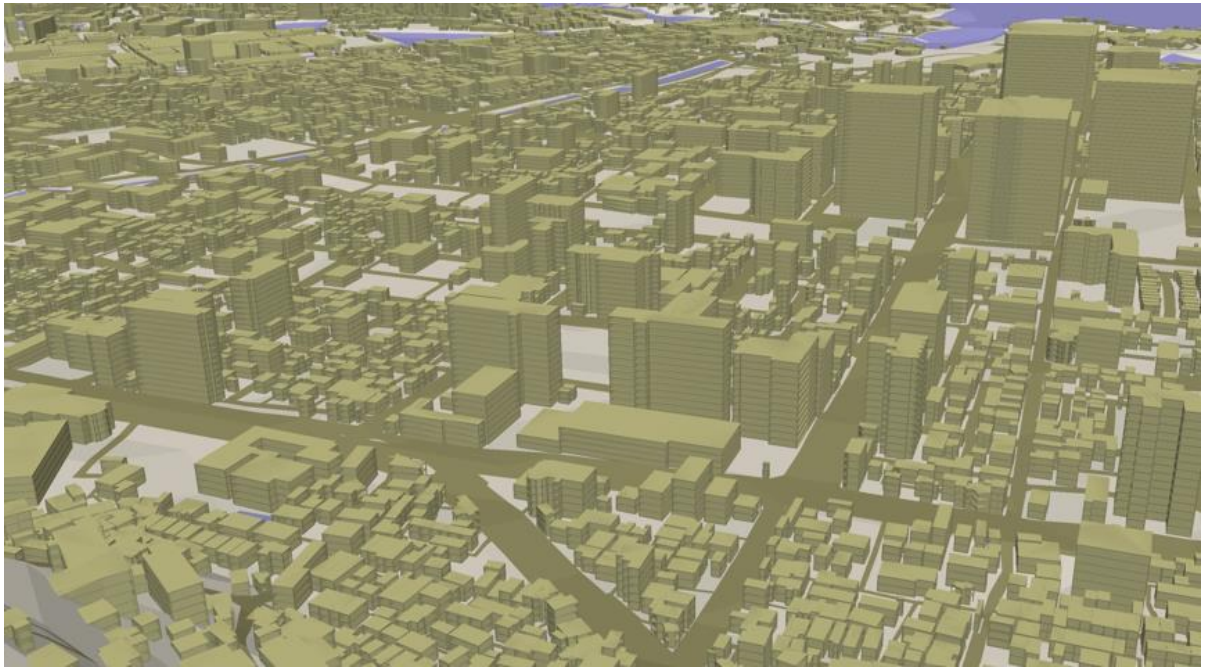


Comprehensive city model automatic construction by Ohtani & Hori of AICS

Copyright 東大地震研, AICS, R-CCS

GIS地理空間情報とのリンク技術

3D地図の利用：テンプレートフィッティング適用例

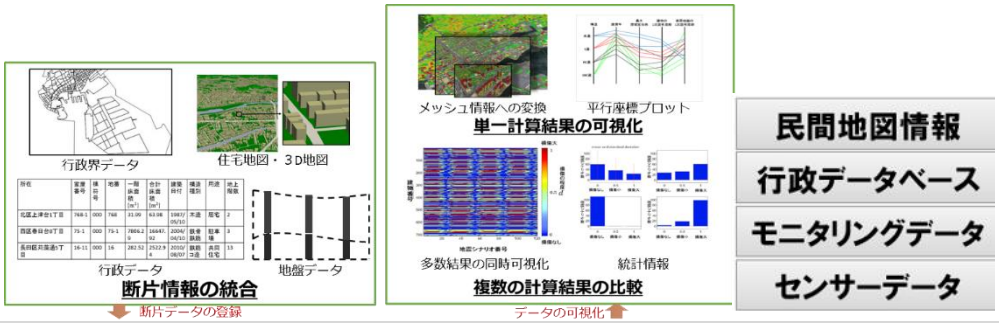


Copyright 東大地震研, AICS, R-CCS

異種シミュレーション連携　IES：Integrated　Engineering System

異種データ群

市町村資
産台帳など

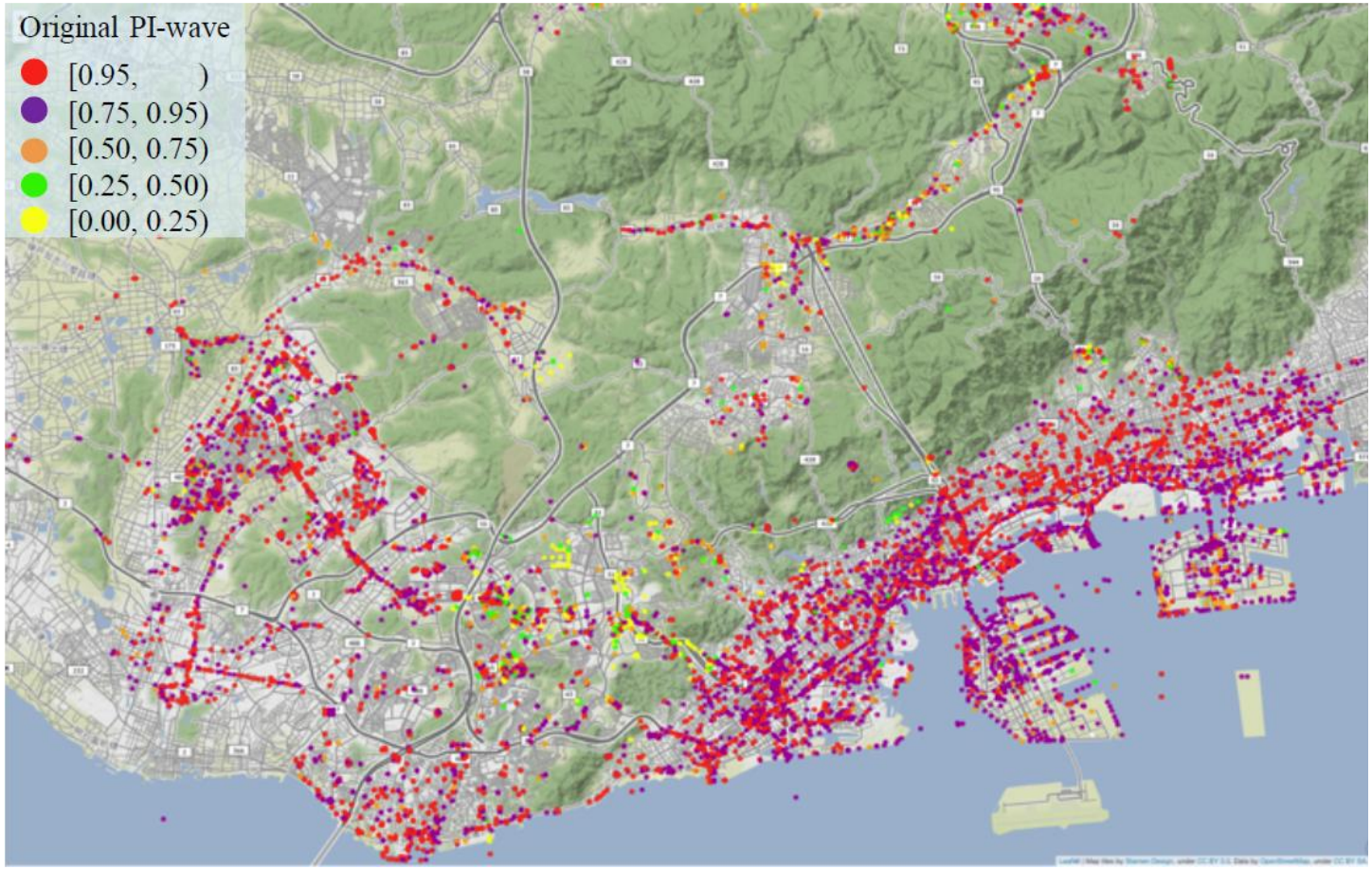


IES

地震災害計算　津波災害計算　風水害計算　避難計算

Copyright 東大地震研, AICS, R-CCS

シミュレーション例：液状化リスクの定量化



1995 Hanshin-Awaji Earthquake, input wave observed at Port Island (PI-wave)

（Chen,J., O-tani,H., Takeyama.T., Oishi,S. and Hori,M.: Toward a numerical-simulation-based liquefaction hazard assessment for urban regions using high-performance computing, Engineering Geology, Vol. 258, No.14, 2019）

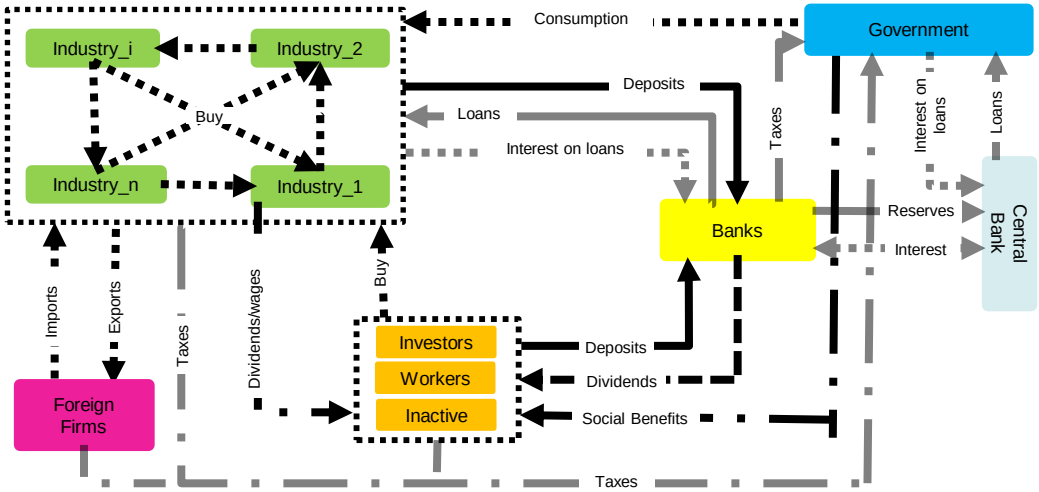
液状化リスクの定量化比較

R-CCS，神戸大学より

その他：HPC-eMAS （「都市丸ごと」を対象にMICROからMACRO）

MASを経済シミュレーションに拡張

- ミクロ経済の支配方程式群を精緻に解析
- 企業・銀行・個人等，多種多様なエージェントの設計と実装



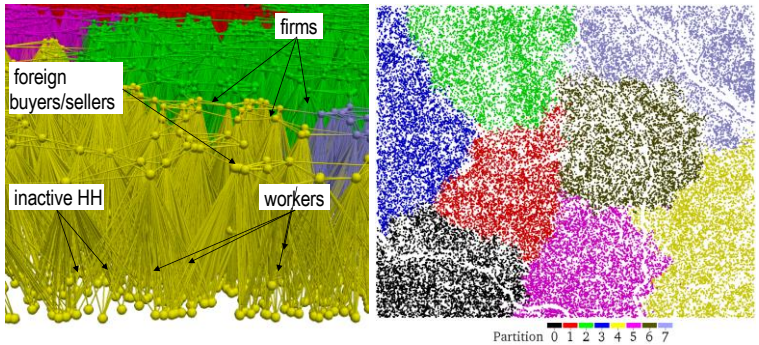
経済活動を行う多種多様なエージェントとその関連

$$
\begin{aligned}
Y^G(t) = {} & \overbrace{(\tau^{SIF} + \tau^{SIW})\bar{P}^{HH}(t) \sum_{h \in H^E(t)} w_h(t)}^{\text{Social security contributions}} + \overbrace{\tau^{INC}(1-\tau^{SIW})\bar{P}^{HH}(t) \sum_{h \in H^E(t)} w_h(t)}^{\text{Labour income taxes}} \\
& + \overbrace{\tau^{VAT} \sum_h C_h(t)}^{\text{Value added taxes}} + \overbrace{\tau^{INC}(1-\tau^{FIRM})\theta^{DIV}\left(\sum_i \max(0, \Pi_i(t)) + \max(0, \Pi_k(t))\right)}^{\text{Capital income taxes}} \\
& + \overbrace{\tau^{FIRM}\left(\sum_i \max(0, \Pi_i(t)) + \max(0, \Pi_k(t))\right)}^{\text{Corporate income taxes}} + \underbrace{\tau^{CF} \sum_h I_h(t)}_{\text{Taxes on capital formation}} \\
& + \underbrace{\sum_i \tau_i^Y P_i(t) Y_i(t)}_{\text{Net taxes/subsidies on products}} + \underbrace{\sum_i \tau_i^K P_i(t) Y_i(t)}_{\text{Net taxes/subsidies on production}} + \underbrace{\tau^{EXPORT} \sum_l C_l(t)}_{\text{Export taxes}} .
\end{aligned}
$$

ミクロ経済で確立された支配方程式群の実装
←国の税収に関する支配方程式
←企業・銀行・個人に対し支配方程式を実装

HPC-eMASの高速並列化

- 高密度・中央指向の連結
- ロードバランスの改良
- 最新C++ライブラリの利用



労働市場の仮想グラフに基づく全エージェントの適切な分割

問題設定：20期間，10,000,000エージェント，Reedbush（東大）

# MPI processes	Run-time per iteration(s)	Strong scalability
4	44.5	
8	26.0	85.7%
16	18.3	70.2%
32	15.2	60.2%
64	13.2	57.4%

Reedbushでのストロングスケーラビリティ

- 全日本フルスケール，10年間計算を5時間
- 他のコードでは2～3か月

SIP:Lalith Wijerathne（東大）より

KOBE UNIVERSITY

都市丸ごとシミュレーション技術のかなめ

ビッグデータ＋データ駆動（Data driven technology)

⇩

シミュレーション統合＝シミュレーション・プラットフォーム

都市丸ごとシミュレーション（IES）←シミュレータ・プラットフォーム

多数シナリオ
　・可能性（シナリオ）を網羅できる→想定外をなくす
定量化
　・リスクを比較計量的に定量化できる→リスクの共有
広域・高解像度
　・広域を対象として，空間と時間の違いによる相互比較を可能とする→リスクの比較
統合的な可視化
　・得られる多様な情報を統合的に示せる→説明力，合意形成

IES（Integrated Engineering System）技術的バックグラウンド
・スーパーコンピュータのクラウド利用の進展/GPGPUを用いた大規模並列計算の実用
　2020年 「京」から「富岳」
・IESをプラットフォームとする多様な解析技術の蓄積
　各種解析シミュレーションソフト，MAS（Multi-Agent Simulation)
・IESによる多様なデジタル文書/図面の自動読込みと都市モデルの自動構築技術の進展
　DPP（Data Processing Platform）技術，WebAPI データ連携技術と3 次元可視化技術
など

国の施策
例：国交省IDP(Infra-Data Platform)

インフラデータ関連の超ビッグ・データ

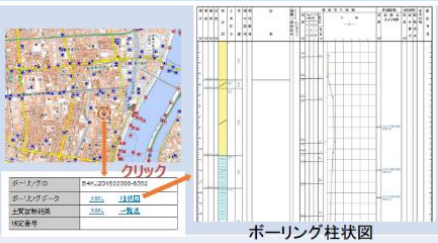
国交省より

令和元年度にAPI連携を試行するデータベース

国土交通省

○令和元年度は下記データベースとのAPI連携を試行
○次年度以降は地方公共団体や他省庁、民間等のデータベースとの連携を拡大

＜今年度連携を予定しているデータベース＞

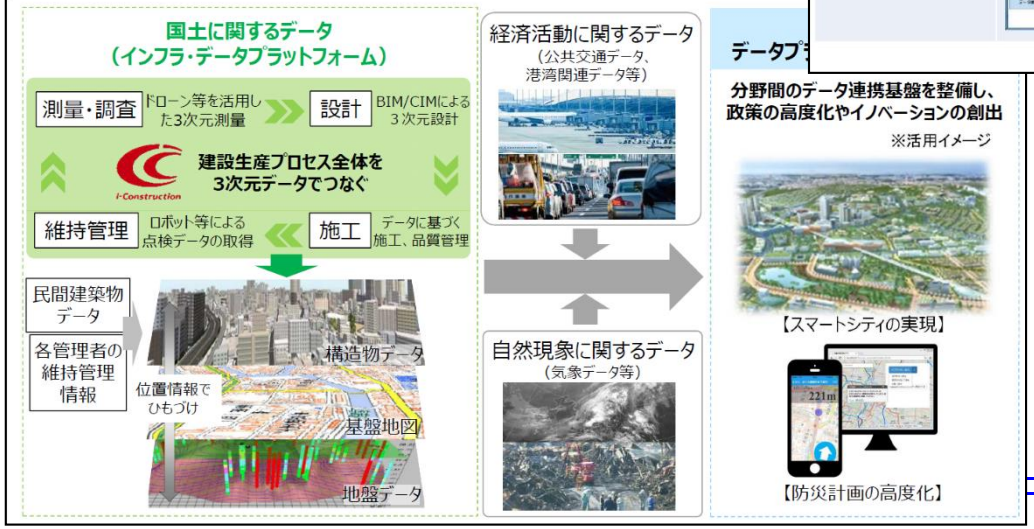
連携するデータベース		登録データ
国土地盤情報データベース 管理者： （一財）国土地盤情報センター		・諸元 ・柱状図 ・土質試験結果一覧表 ※登録数：約14万本
社会資本情報プラットフォーム		・諸元（施設名称、所在地、完成時期等） ・維持管理情報（点検結果等） 【主な登録施設】 道路：橋梁、トンネル、シェッド、横断歩道橋、大型カルバート、門型標識 河川：堤防、樋門、水門、ダム、砂防 港湾：係留施設　等

※その他データベースについても調整を進める

5

i-Constructionの推進と国土交通データプラットフォームの構築

○ ICT等の全面的な活用により建設現場の生産性向上を図る「i-Construction」の取組を推
○「i-Construction」の取組で得られる3次元データを活用して、さらに経済活動や自然現象に
せることで、「国土交通データプラットフォーム」を構築し、産学官連携によるイノベーションの創出



先行事例（シンガポール）

Virtual Singapore

Collaboration and Decision-Making
Communication and Visualisation
Urban Planning
Analysis on Potential for Solar Energy Production

ダッソーシステムズHPより

KOBE UNIVERSITY

以下，余談

海外の動向

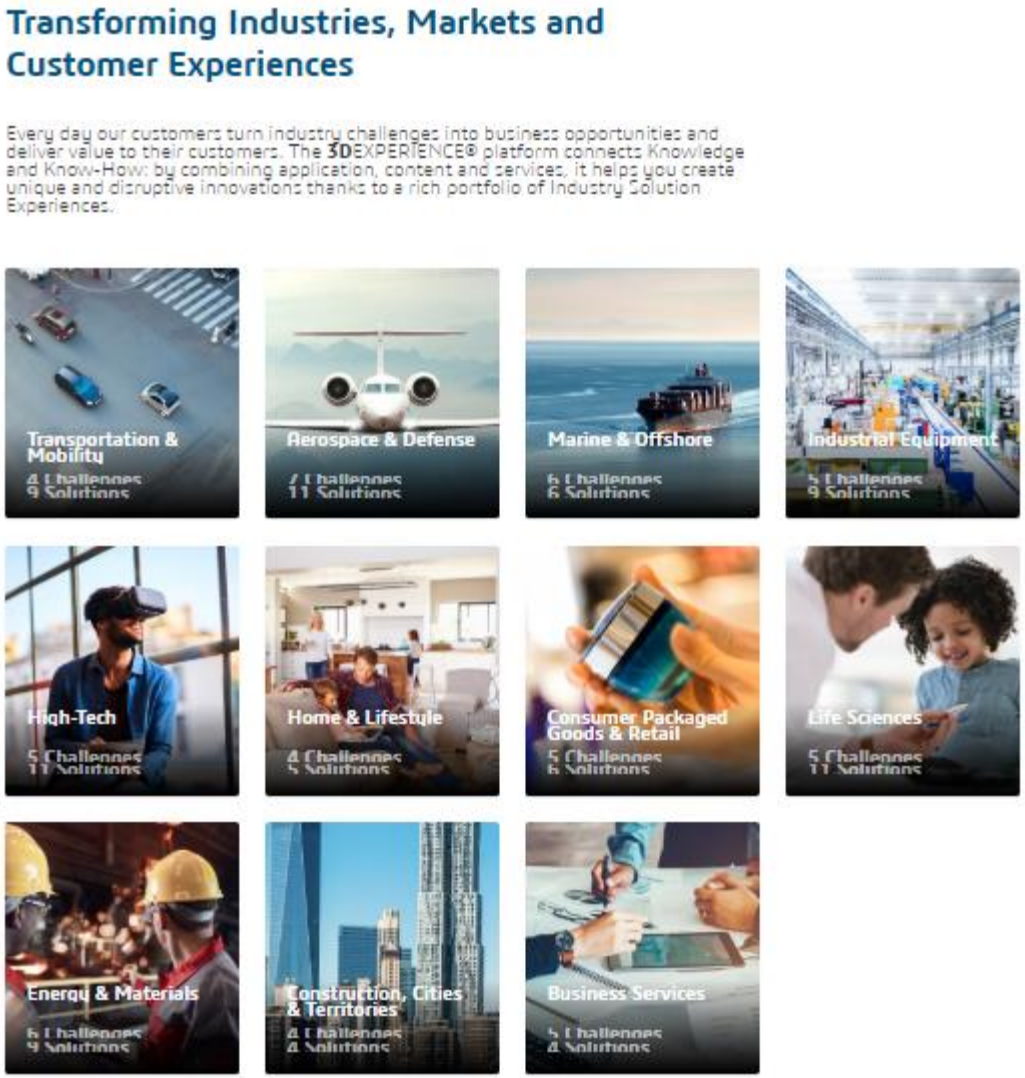
シンガポール政庁による投資の呼び込み

ダッソー・システムズHPより

ビッグ・データ（基盤情報データプラットフォーム）
→情報処理と各種シミュレーション（進む寡占化）

例：ダッソー・システムズ

1981年 設立
1981年 IBMとのグローバル・アライアンス開始
1992年 CADAMを買収し、Dassault Systèmes of America Corporationを設立
1994年 日本法人 ダッソー・システムズ株式会社を設立
1997年 SolidWorks社を買収し、ブランドに加える
1998年 Matra Datavision社の事業からEUCLID、STRIM、STRIMFLOWを買収
1998年 IBMのProduct Data Management(PDM) 事業を買収
1999年 SmarTeamベンダーのSmart Solutionsを買収し、ENOVIAブランドに統合
2000年 Deneb、Safework、DELTAを買収・統合し、DELMIAブランドを設立
2000年 Spatialを買収
2005年 Abaqusを買収し、SIMULIAブランドを設立
2005年 Virtoolsを買収
2006年 MatrixOneを買収し、ENOVIAブランドに統合
2006年 Dynasimを買収し、CATIAブランドに統合 (DYMOLA)
2007年 Seemageを買収し、3DVIAブランドに統合 (3DVIA Composer)
2007年 ICEMを買収し、CATIAブランドに統合
2008年 Engineous Softwareを買収し、SIMULIAブランドに統合
2010年 IBMのPLM事業部を統合
2010年 Exaleadを買収
2010年 Geensoftを買収し、CATIAブランドに統合
2011年 Intercim LLCを買収し、DELMIAブランドに統合
2011年 Enginuity PLMを買収し、ENOVIAブランドに統合
2011年 Simulayt Limitedを買収
2011年 Elsysを買収し、CATIAブランドに統
2012年 Netvibesを買収[22]
2012年 Getcom Software internationalを買収し、GEOVIAブランドを設立
2013年 FE-DESIGN GmbHを買収し、SIMULIAブランドに統合
2013年 Archividéoを買収
2013年 SIMPOEを買収
2013年 アプリソを買収し、DELMIAブランドに統合
2013年 SFE GmbHを買収
2013年 Safe Technology Limitedを買収し、SIMULIAに統合
2013年 RTT AGを買収し、3DEXCITEブランドを設立
2014年 アクセルリス社(Accelrys, Inc., NASDAQ: ACCL)を買収
2014年 SIMPACK AGを買収し、SIMULIAブランドに統合
2015年 Modelon GmbHを買収



Wikipedia＆ダッソー・システムズHPなどより

国際的動向　buildingSMART(旧IAI:International Alliance of Interoperability)

・建設業界に携わる北米12の会社によって設立
・ソフトウェア会社と共に建設業界にIFC標準を促進

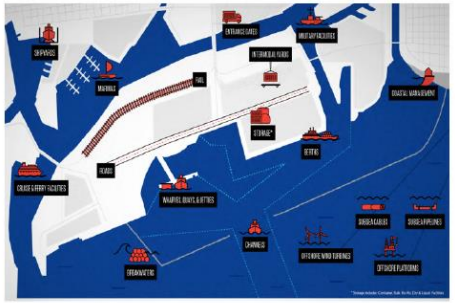
IFC4（Industry Foundation Classes）は2013年3月に国際標準化機構（International Organization for Standardization）の規格として発行された。
ISO 16739:2013
Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries

buildingSMART International home of openBIM

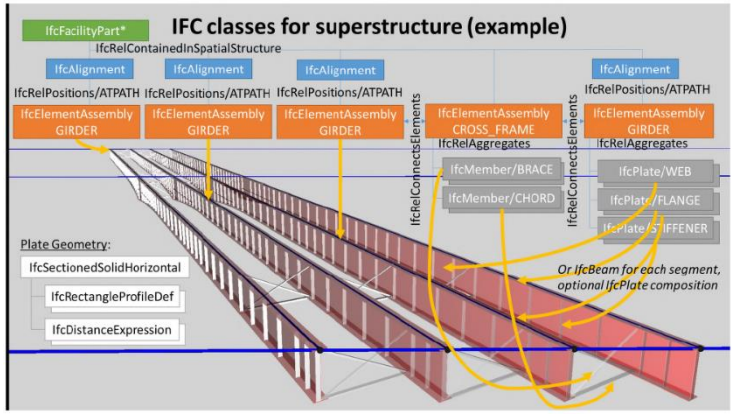
Design 設計	計画	設計	積算	工程
Procure 調達	製品	評価	購入	
Assemble 組立	調整	工期	品質	
Operate 運営	監視	維持	改善	撤去

各構造物や対象で共通する部分を集約

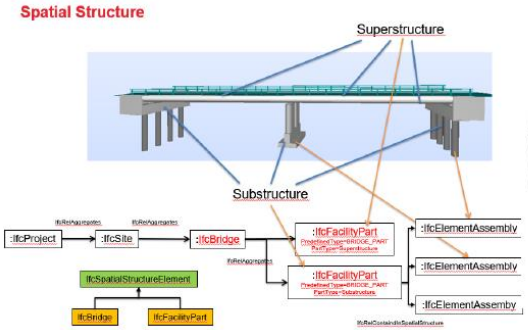
道路の空間構成



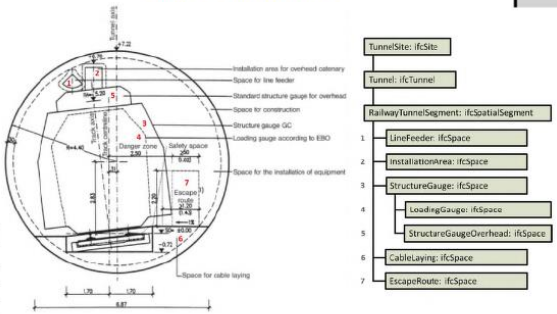
港湾の空間構成



鋼桁のモデル

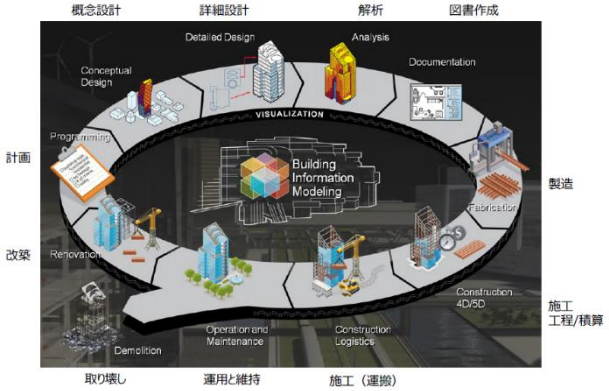


橋梁の空間構成



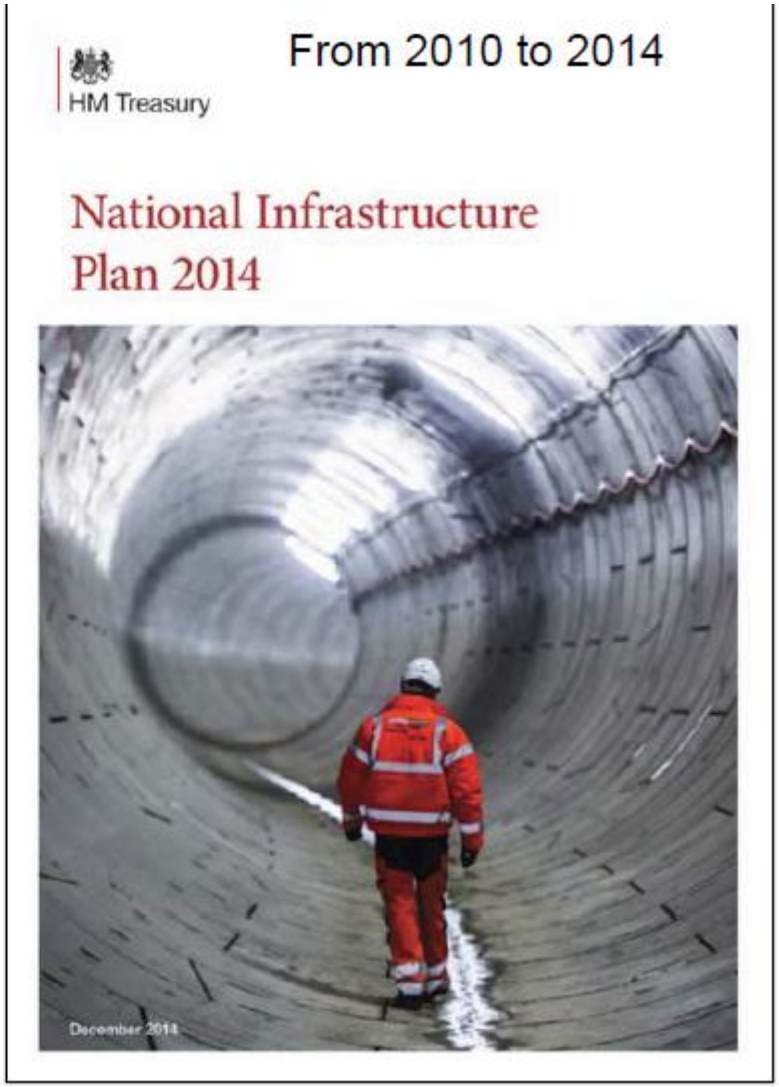
トンネルの空間構成

BIMの概念



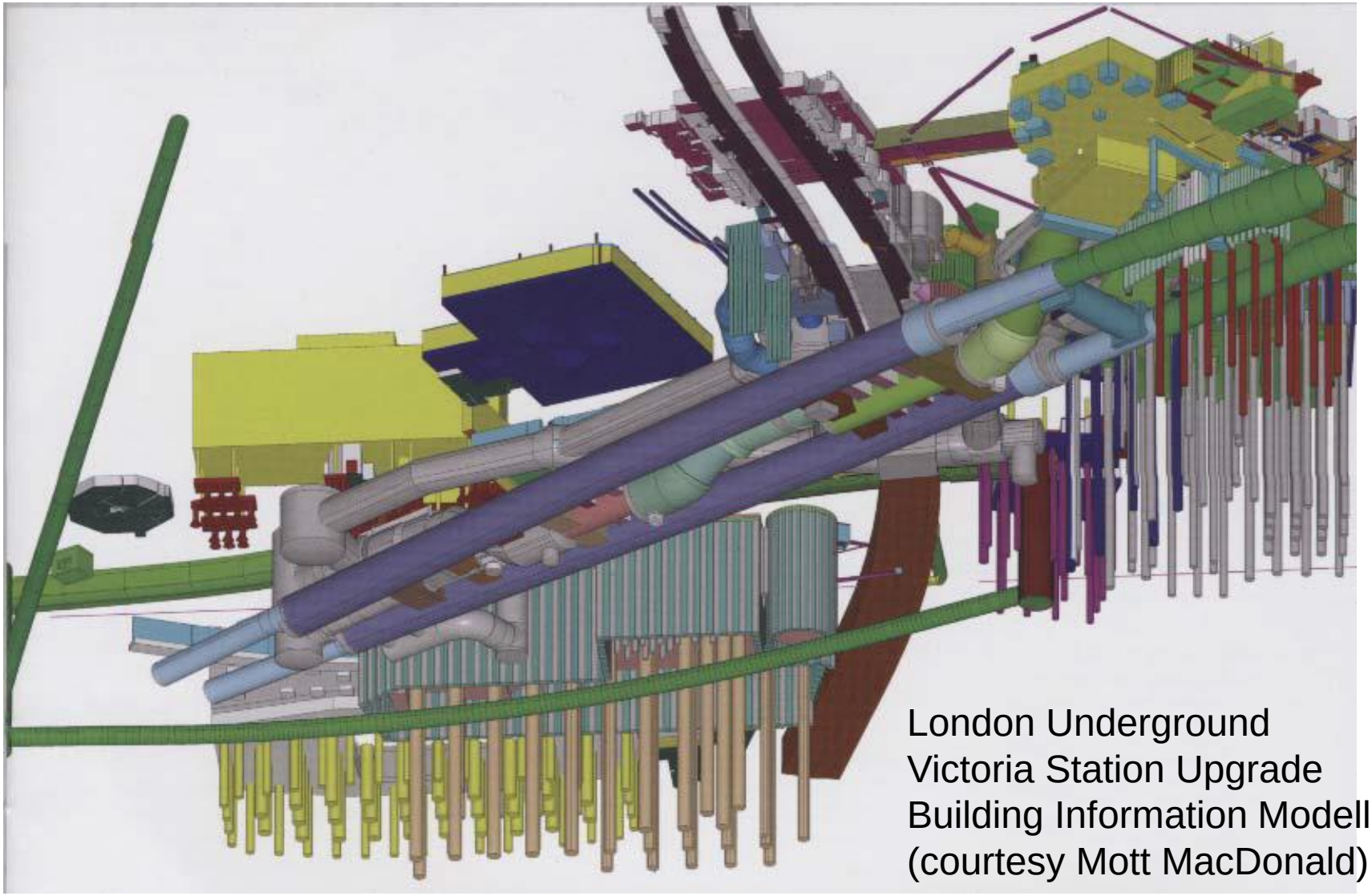
buildingSMART Japan理事／大林組技研　古屋氏
buildingSMART HPより

公共事業を投資先にかえた例



UC Berkeley Prof. Sogaより

計測技術とBIM/CIMの統合化による



UC Berkeley Prof. Sogaより

再度，放射性廃棄物の地層処分に戻って

地層処分　基本方針　平成27(2015)年（改定）

（１）現世代の責任と将来世代の選択可能性

・廃棄物を発生させてきた現世代の責任として，将来世代に負担を先送りしない．

・可逆性・回収可能性を担保し，将来世代が最良の処分方法を選択可能にする．

・代替オプションを含めた技術開発等を進める．

（２）全国的な国民理解，地域理解の醸成

・実現に貢献する地域に対する敬意や感謝の念や社会としての利益還元の必要性を国民が共有する．

・国から地方自治体に対する情報提供を緊密にし，丁寧な対話を重ねる．

（３）国が前面に立った取組

・国が科学的有望地を提示し，理解活動の状況等を踏まえ，調査等への誓いと協力について，関係地方自治体に申入れを行う．

（４）事業に貢献する地域に対する支援

・合意形成に向け，多様な住民が参画する対話の場の設置および活動を支援する．

・地域の持続発展に資する総合的な支援措置を検討し講じる．

（５）推進体制の改善等

・NUMOの体制を強化する．

・信頼性確保のため，原子力委員会の関与を明確化し，継続的な評価を実施する．

・使用済み燃料の貯蔵能力の拡大を進める．

Q1～Q3を越えた，責任を感じる．技術を磨く，広める．技術で勝負

KOBE UNIVERSITY

ご清聴

ありがとうございました.