

地下空間利用における 防災上の課題と対応策

土木学会 地下空間研究委員会
防災小委員会 委員長 戸田 圭一
京都大学 防災研究所 教授

1. 地下空間を有効活用した都市の治水施設

放流施設
<地下河川>



貯留施設
<流域調節池>



流域調節池地上部



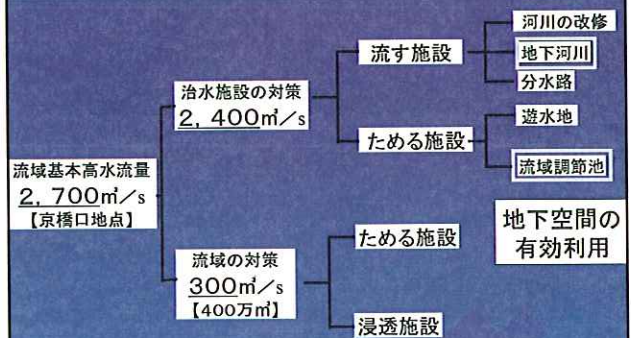
流域調節池内部

寝屋川流域の特徴



- 古代は海域であり、淀川、大和川の氾濫原であった。
- 山地と一級河川堤防に囲まれた凹地形をしている。
- 流域の約8割はポンプ排水の必要な内水域である。
- 内水域は高度に都市化が進んでいる。

◆ 流量分担計画 ◆



地下河川



2. 水害への対応策について

- ・ 実物大の模型を用いた避難体験実験



左: 階段模型
15cm×20段、幅1m
地上部水深: 0~50cm

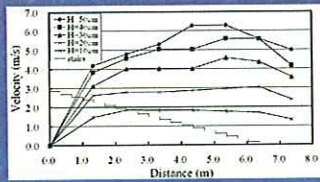
右: ドア模型
幅80cm
押し、引きの両方で実験可
(京大防災研 宇治川OL)

防災小委員会委員による
体験実験



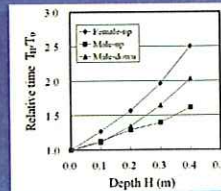
階段部での避難時間測定と状況の観察

- 被験者が階段を上る時間を避難時間として測定
- アンケート調査
- 0, 10, 20, 30, 40cmの5ケース
- 理想的状況



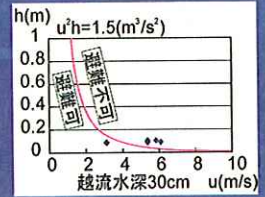
地上の水深 10cm~50cm

実験結果



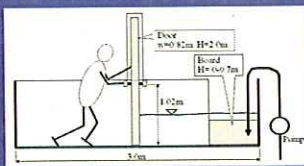
非浸水時に対する浸水時の避難時間の比率(T_H/T_0)

越流水深30cmで、非浸水時に比べて男性は1.5倍、女性は2倍の避難時間を要する。



流速と水深の水利指標、避難時間の変化、アンケート調査結果、今回の実験状況などから総合的に判断して、

地上の浸水深30cm相当での流入状況が成人の歩行避難の限界。



ドア前面の水深と水圧の関係

ドア前面の水深 (cm)	ドアにかかる水圧 (kgf) (ドアの幅80cm)
20	16
30	36
40	64
50	100



実物大ドア模型の概要 (左図) と写真 (右)

水深Hを変化させて実験: 成人男性では水深40cmを越えると開閉困難となる。

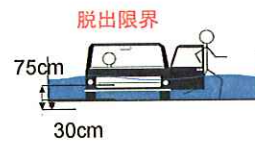


成人男性の場合:

地上から75cmの水深(ドア底部からは45cm)の水深が脱出限界

・ドア面積の小さな後部座席からのほうが脱出しやすい。

・ドアの大きな車、低い車は要注意

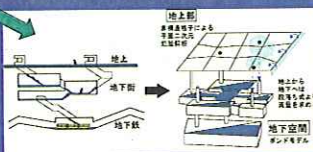


地下浸水モデルを含む都市流域の統合型洪水氾濫モデルの開発



統合型の都市水害モデルを構築

- 降雨流出モデル
- 地上の洪水氾濫モデル
- 下水道モデル
- 地下浸水モデル



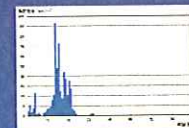
神戸 生田川流域



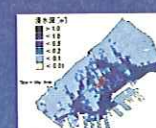
三宮地区と三宮地下街



三宮地下街のポンド分割



東海豪雨災害時の降雨



東海豪雨災害時の降雨による浸水深 (19時間目)



望まれる地下空間耐水システム(1)

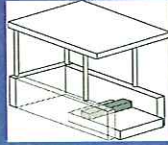
(1) 止水板、段差

浸水深までの浸水防止

たとえ浸水しても浸水量を減らし、かつ浸水までの時間を遅らせる効果大



止水板



段差(ステップ)

望まれる地下空間耐水システム(2)

(2) 地下への情報伝達システム

一元化した降雨・洪水情報を地下鉄や地下街管理者に迅速に伝達

(3) 避難・救助システムの整備

指示避難体制の確立

浸水に適した避難経路の設定

(複数の避難経路の設定など)

地下浸水時の**救助体制の確立**

3. 火災への対応策について

・都市内長大トンネルの防災安全対策

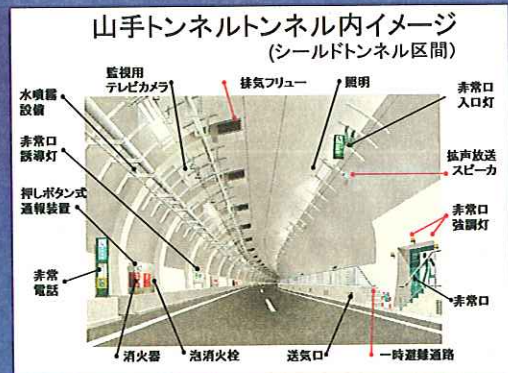
・“山手トンネル”の特徴

- ① 全線の約7割がシールドトンネル
- ② トンネル内に分合流箇所が複数存在
- ③ 本線縦断勾配の変化が大きい
- ④ 予測日平均交通量6~8万台の重交通

・分合流部付近や渋滞末尾での事故発生率が高い傾向

- 山手トンネルは双方の要因を持ち合わせる
- 防災・安全に対する配慮がより一層重要

・都市内長大トンネルの防災安全対策



・都市内長大トンネルの防災安全対策

・発災時の施設・交通運用のポイント(山手トンネルにおける取り組み)

- **火災の検知・認知・判定**
 - ・ 約380台のCCTVカメラによる監視体制
 - ・ 画像処理により火災発生前段階の交通異常事象の検出
- **換気による避難環境の確保**
 - ・ 火災初期段階においてはトンネル内の避難環境を確保
 - ・ 後期段階においては消防隊による本格消火活動を支援
- **情報提供機器による車両誘導**
- **交通巡回体制の強化**
 - ・ 四輪のパトロールカーの増車&二輪車によるパトロール隊の導入
- **迅速・確実な車外避難誘導**
 - ・ 非常口間隔を最大350m
 - ・ 非常口への利用者の避難完了目標を火災発生後10分以内
 - ・ 拡声設備には連続的時間遅延技術を導入

今期の課題・展望

テーマ

「災害に強い街づくりにおける地下空間の防災のあり方」
 “地下空間に潜む危険性回避への対応”
 “地下空間を防災面で有効活用”

今後の課題、取り組み

地下空間を有効活用した防災対策
 地下河川や地下調節池、雨水貯留浸透施設の効果検討 等

大震災時の地下空間の有効活用
 一時避難場所としての地下空間の活用策等

地下空間の行動(心理学の観点から)

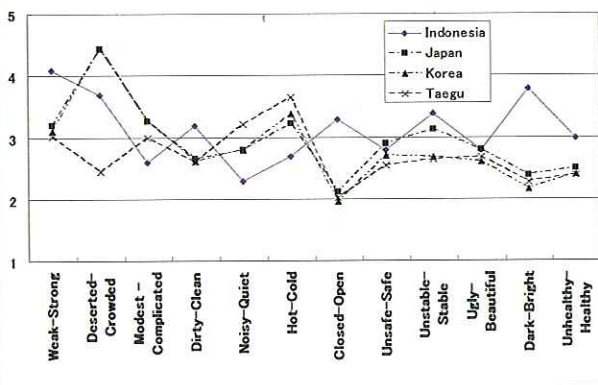
土木学会 地下空間研究委員会
心理小委員会 委員長 和氣 典二
中京大学

概要

公共的地下空間の多様な利用者の知覚-認知環境を、利用者の視点から検討。

- 地下空間のイメージと地下鉄駅舎の出口探索
- ヒューマン・インターフェイスからみた地下空間の視環境のありかた
- 移動手段の違いによる生理的・心理的負荷の程度や深度が生体に与える影響
- QOL(Quality of Life)による地下空間の評価
→QOE(Quality of Environment)

日本, 韓国, インドネシアにおける地下空間イメージ



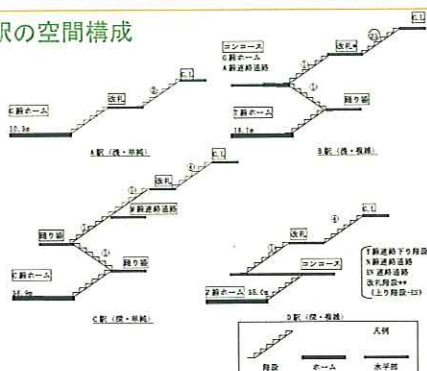
地下駅舎の出口探索行動

研究目的

- ・ 群集の先頭者の火災時の出口探索行動を調べる
- ・ 探索行動における運動指標と心理指標の関係を調べる



実験駅の空間構成



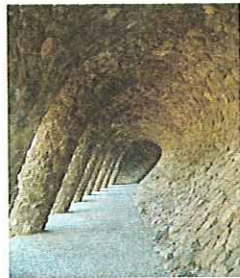
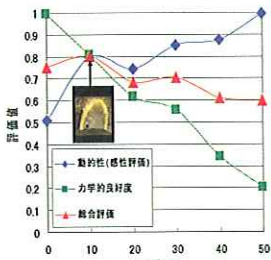
■ 駅内の乗降経路となる階段の空間構成は、終点にて、ホームを右下、地上も右上で示す。ただし、矢印は正確でない。
■ 階段上の数字は、その上下段差をつなぐ階段数を示す。
■ 駅影の表示は3面ある。その他の実験駅は3面のみ。
■ 駅影の表示はホームで、1つの改札階段のうち、一方は階段を経て田のふたつにわたっている。視覚を実験に活用可能なようにした。

結果と考察



- 探索時間が増加するにつれて、被験者間の探索時間のばらつきが増大する。
- 探索時間が増すと、不安感は増す。
- ホーム深度が深いと、探索時間、体力負荷や心理的不安度が増加する。

地下空間デザインにおける感性と力学の融合



カウディのゲエル公園の回廊

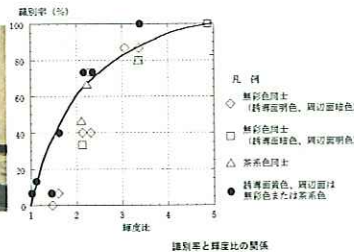
データ提供: 山口大学教授 清水剛一

感性と力学の融合評価に基づく空間の最適傾斜角度

ロービジョン者の視認性についての心理評価

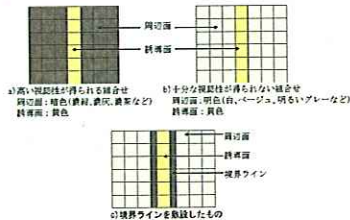


評価実験の様相



データ提供: INAX 高井智代

境界ラインの効果



- 境界ラインを敷設することにより、誘導面の視認性を向上できる。
- 境界ラインが誘導面より暗いときに誘導面が分かりやすい。

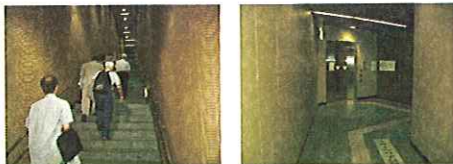
データ提供: INAX 高井智代

公共トイレ内の行為の困難さ

質問項目	回答	困難を感じた人 (%)
(A) 公共トイレの場所をさがす		99%
(B) 男性トイレをさがす	金曜寺	84%
	ローゼン	89%
(C) 女性トイレをさがす	金曜寺	85%
	ローゼン	88%
(D) 小便器の立ち位置を認知する		47%
(E) 小便器の位置を指示		44%
(F) 大便器ブースがわかりにくい		66%
(G) 小便器の位置がわかりにくい	男性	35%
	女性	60%
(H) 大便器の位置がわかりにくい	男性	21%
	女性	40%
(I) トイレの清掃	男性	64%
	女性	73%
(J) 洗面台の位置をさがす	金曜寺	87%
	ローゼン	82%
(K) 手を洗う	男性	40%
	女性	71%

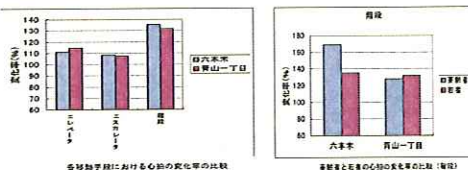
データ提供: INAX 高井智代

地下での移動が心理的・生理的疲労度に与える影響 <地下鉄駅舎におけるフィールド実験>



- 移動による疲労の心理的評価は、階段利用者の方が疲労度の上昇が大きい。
- 主観的疲労の深度の評価では、階段利用者の方がエレベータ利用者よりも深度の評価値が大きい。また、高齢者ほど深度の評価値が大きい。
- 階段移動により高齢者は移動前の心拍に戻るのに遅い傾向がみられる。

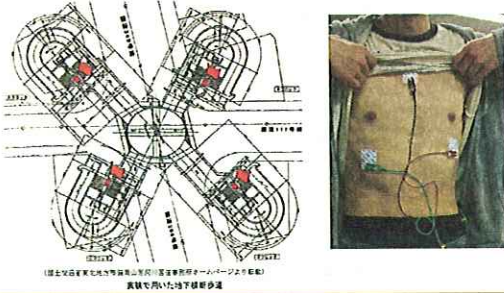
移動方法の違いが生体負担に与える影響



- エレベータ、エスカレータを使用することにより、生体への負担は低く抑えられる。
- 階段による移動は生体への負担が大きい。特に高齢者は深度の違いによる影響が大きい。

地下空間移動時の生体負担の計測

- 地下横断歩道の歩行時における心拍変動を解析し、移動行動と心拍変動との関係を検討



データ提供:山形大学准教授 本多真



実験で用いた地下道

- スロープが曲がり始める、前方から自転車がある、立ち止まるなど、時々刻々と変化する生体負担の変化が計測可能であることを示した。

データ提供:山形大学准教授 本多真

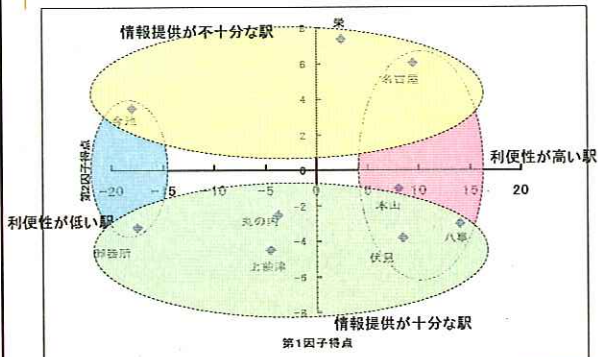
QOE (Quality of Environment)による地下空間の評価法

- ヒューマン・インターフェイスという観点から地下空間の適切な視環境を生理・心理的にとらえ、QOEとの関係を明らかにする。
- QOEをどのように評価するかという評価法を確立する。
- このようにして得られた資料を環境の物理的特性と関係づけることができれば、それは地下空間の設計に役立つものとなる。

地下鉄構内を探索したときのイメージ ＜名古屋市営地下鉄9駅構内の評価＞

- 第1因子(段差によるつまずき・まぶしさ・情報の伝達の因子)
通路に段差があり不安だ、照明光がまぶしい、改札口付近の案内板・時刻表がわかりにくい
- 第2因子(利便性の因子)
地下通路は美観が良い、エレベーターがあり便利である、明るく安心感がある
- 第3因子(不安因子)
外が見えなくて不安だ、地震・火災などの災害時のことを思うと不安である、地下の照明が暗い
- 第4因子(環境の与える因子)
人が多くていらいらする、緑が配置されていて心地よい

第1因子得点と第2因子得点の直交座標における各駅の位置



評価の高い本山駅構内



評価の低い今池駅構内



まとめ

- 地下空間のもたらす心理的影響、人々が抱く地下空間のイメージを明らかにした。
- 国土交通省より委託の「大深度地下空間のアメニティ及びバリアフリーのガイドライン」原案作成を行った。
- 日韓合同地下鉄事故に関する調査を行った。
- 地下空間を「人間が行動する空間」としてとらえ、実用化への具体性のある研究内容が増大した。
- ハンディーキャンプを有する人々へ暖かい目が向けられ、この方面の研究が進められた。
- 生体負担の計測方法やQOLによる評価方法などに進展がみられた。

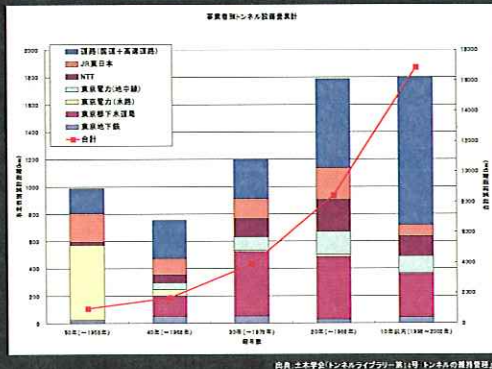
地下空間の維持管理状況と老朽化施設への取り組みについて

H20.9.11
地下空間研究委員会
維持管理小委員会 委員長
大塚 正博

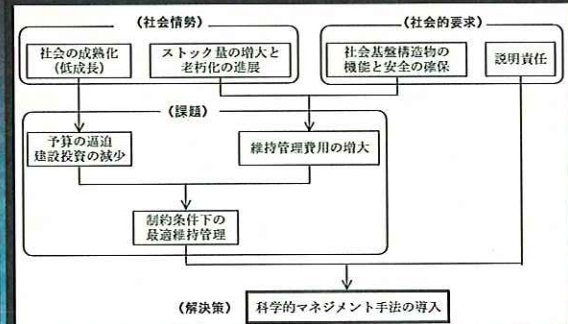
目次

1. 各施設の経年化状況
2. 今、何故維持管理に注目すべきか？
3. 各施設の維持管理(点検)の状況
(国道トンネル、東京地下鉄、東京電力送電用トンネル)
4. 鉄道トンネルにおける維持管理のシステム化事例
5. 維持管理に関する事業者共通課題
6. 老朽化施設への取り組み事例(1)~(4)
7. 施設のリニューアル事例
8. アセットマネジメントシステムの考え方
9. アセットマネジメント導入で期待される効果
10. アセットマネジメント適用にあたっての課題

施設の経年化状況(2008年時点)



今、何故維持管理に注目すべきか？



これからの施設管理の基本的考え方

(従来の施設管理)

一律一斉のメンテナンス(TBM: Time Based Maintenance)を実施し、劣化状態の判定は定性的なデータを用いて点検者の経験に基づいた判断によるため、統一した尺度での保守管理ができていない。

(これからの施設管理)

TBMからCBM(Condition Based Maintenance)への移行を図る。このため、RCM(Reliability Centered Maintenance)手法を用いて、施設機能別に重要度や影響度等を考慮して予防保全の必要な部位を選択するとともに施設の劣化状態に応じた点検項目、管理項目、並びに点検頻度を設定する。

劣化進展の著しい施設については、測定データを取得し、診断カルテを作成して傾向を管理する。

各施設の維持管理(点検)の状況(1)

1. 国土交通省(一般国道トンネル)

点検名称	点検手法	点検項目	頻度
日常点検	目視、打音	ひび割れ、浮き、剥離、漏水等	1回/日
定期点検	目視、打音	ひび割れ、浮き、剥離、漏水等	1回/2~5年
調査	ひび割れ計測 内空変位計測 強度試験 劣化試験等	外力による変状、材質劣化による変状、漏水による変状	定期点検結果に応じて

引用: 国土交通省「トンネルマップ」第1号「トンネルの維持管理」

各施設の維持管理(点検)の状況(2)

2. 東京地下鉄

点検名称	点検手法	点検項目	頻度
通常全般検査	目視, 打音	構造物の状態, 漏水の状態	1回/2年
特別全般検査	目視, 打音	構造物の状態, 漏水の状態	1回/20年
個別検査	ひび割れ計測 内空変位計測 強度試験 中性化深さの計測等	ひび割れ・漏水・変位の有無, 圧縮強度, 中性化深さ等	全般検査結果に応じて

引用: 土木学会「トンネルインフラ—第1号—トンネルの維持管理」

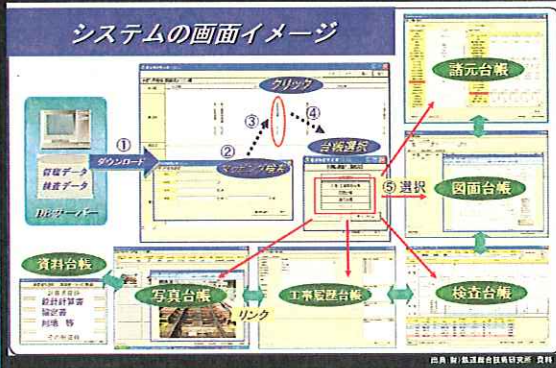
各施設の維持管理(点検)の状況(3)

3. 東京電力(送電用トンネル)

点検名称	点検手法	点検項目	頻度
内部点検	目視	変状の有無, 進行程度	1回/6年
亀裂点検	目視 ひび割れ計測	ひび割れ・漏水・鉄筋の腐食	内部点検結果に応じて
詳細点検	内空変位計測 強度試験 中性化深さの計測等	変形, 圧縮強度, 中性化深さ, 塩化物イオン濃度等	亀裂点検結果に応じて

鉄道トンネルにおける維持管理のシステム化事例(1)

システムの画面イメージ



出典: 国土交通省鉄道局研究開発部 資料

鉄道トンネルにおける維持管理のシステム化事例(2)

目安判定マトリクス

変状の状態を位置、程度、分布の各要素で捉える

各要素を大、中、小に区分

健全度の目安判定を出力

←危険 AA A1, A2, B, C, S 健全→

規模	分布	漏水	目安判定
...
中	大	大	a1
	中	中	a1
	小	小	a1
中	大	大	a2
	中	中	a2
	小	小	a2
小	大	大	a2
	中	中	b
	小	小	b
...

分類	大	中	小	自動判定
規模	幅3m以上	幅1~3m	幅0.5~1m	...
分布	閉合	平行交差	単独	...
漏水	連続的に流下	下向き	漏水なし	...

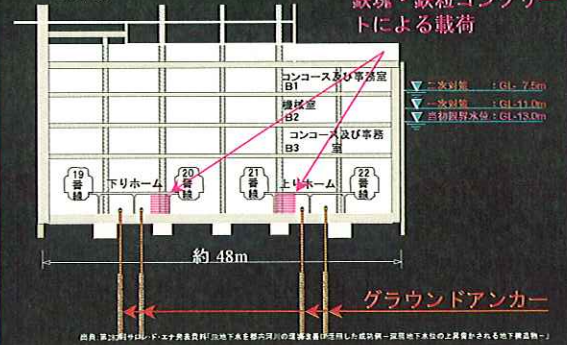
出典: 国土交通省鉄道局研究開発部 資料

維持管理に関する事業者共通課題

1. 点検・調査時間の短縮化
2. 点検記録の電子化, データベースの構築
3. 健全度評価手法の確立
4. 劣化予測モデルの構築
5. 非破壊検査など新技術の確立
6. 適切な補修・補強技術の確立
7. 延命化(長寿命化)技術の確立
8. LCAを含むアセットマネジメントの導入

老朽化施設への取り組み事例(1)

上野駅

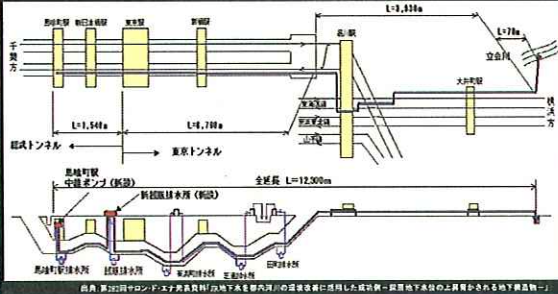


出典: 国土交通省鉄道局研究開発部 資料

老朽化施設への取り組み事例(2)

トンネル漏水を環境用水として利用

・JR東日本総武線トンネル

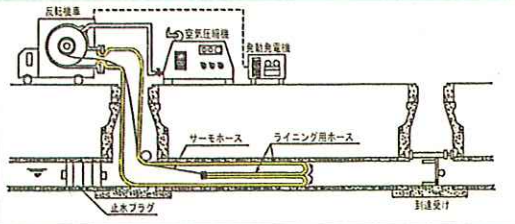


出典: 国土交通省「トンネル漏水対策」/ 地下高圧部内への漏水対策に活用した既設管-既設地下水位の上昇を抑制する地下排水管-

老朽化施設への取り組み事例(3)

ライニング材更正による再構築 東京電力の事例

ライニング材をMHから既設管内に空気圧で反転挿入し、常温によりライニング樹脂を硬化・接着させ、既設管内面に新たな管を構築する。



ライニング材更正による再構築

ライニング施工前

ライニング完了後



管口部仕上り



老朽化施設への取り組み事例(4)

シールドトンネルの補強 東京電力の事例

発生現象 → 定期点検時に異常を発見



中間立金物固定ボルトの破損 鉄筋コンクリート(セグメント)のひび割れ

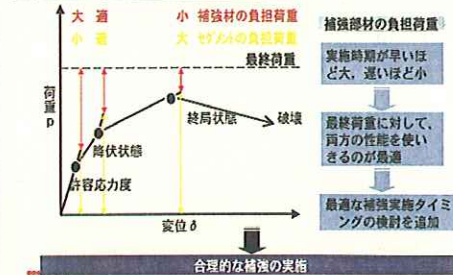
ボルトの破断 : 77本
洞道の変形量 : 12.4mm

原因=洞道の変形(縦つぶれ)

老朽化施設への取り組み事例(4)

シールドトンネルの補強 東京電力の事例

補強実施時別の洞道本体と補強部材の荷重負担の割合

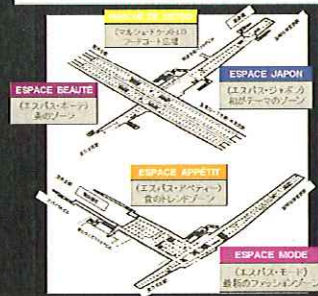


合理的な補強の実施

施設のリニューアル事例

地下鉄駅舎部リニューアル事例 東京メトロ Echica表参道

1つの広場と4つのゾーン



出典: 東京地下鉄(株) 資料

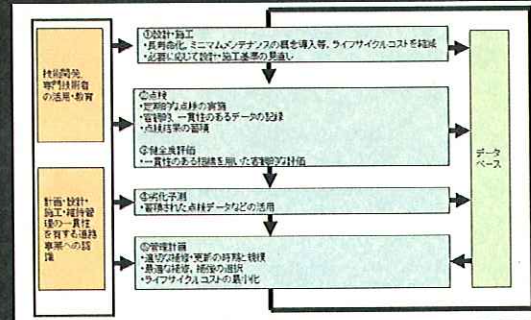
施設のリニューアル事例

地下鉄駅舎部リニューアル事例 東京メトロ Echica表参道



出典 東京地下鉄(株) 資料

アセットマネジメントシステムの考え方



出典 国土交通省「道路資産の寿命管理」更新等のあり方に關する調査、平成15年4月

アセットマネジメント導入効果

1. 適切な管理基準の維持を図ることでライフサイクルコストを最小化
2. 機能更新や再構築によるインフラの再生
3. 客観的なデータに基づく計画的な実施と適切な情報公開によるステークホルダーの理解を得やすくなる
4. 適切な点検等で監視し、適切なタイミングで補修などの対応を行うことにより、リスクを低減できる
5. 自然災害に対する危険度や施設の重要度に応じて優先度を求めることでリスクを低減できる

アセットマネジメントの地下構造物への適用にあたっての課題

- a) 設計・施工
・構造物の寿命設定、維持修繕手法 ・ 付属施設の寿命設定
- b) 点検・健全度評価
・ 構造物および付属施設の点検・健全度評価
- c) 劣化予測
・ 構造物および付属施設の劣化予測
- d) 管理
・ 構造物および付属施設の維持修繕計画の策定
- e) データベース
・ 構造物および付属施設のデータ