

◆ 報 文 ◆

樋門・樋管周辺の遮水性確保技術の開発

荒井 猛*

1. はじめに

堤防は、洪水流から流域住民の生命財産を守るための重要な河川構造物である。河川の堤防には、横断工作物として多くの樋門・樋管（機能、構造としては樋門も樋管も同じなので以下単に樋管という）が設置されている。これらの樋管は堤防を開削して設置されているが、堤防に代わって洪水の進入を防ぐ重要な構造物である。

堤防に設置される一般的な樋管の構造を図-1に示す。函体の大きさは内径0.5m程度の円形断面のものから単体で5m×6m程度の矩形断面を持つものなど多様である。函体が1連のものから3連、4連の大型の樋管も存在している。

これらの樋管と堤防では重量差があり、地盤に伝わる荷重が異なるため、樋管と堤防の沈下とは一般に差異が生じやすくなる。さらに設置が古いものは函体が基礎杭に支持されているため、堤防が沈下しても函体が追従せず、樋管底部と堤防との接触面には空洞が生じやすくなる。その空洞に浸透水が集中し、堤防を構成する土粒子を移動させることで、連続した大きな空洞が形成されやすくなる。このような空洞が成長し、やがて漏水に至る「水みち」を形成する場合があります。堤防の安全に少なからぬ影響を及ぼすことがある。この対策として、新規の樋管に対しては柔構造樋管の採用、遮水工・シートパイルによる止水対策が施されているが、既設の樋管ではこれらの対策が適用できない。現状ではグラウト等による対策を行っているが、これらの対策は函体周辺の更なる地盤

沈下により長期にわたる止水性能が確保できず、長期的な対策が急務とされている。

2. 研究開発の目的

本研究開発は、既設の樋管に生じた「水みち」を止水する地中遮水壁構築技術の開発を行うものである。

開発に当たっては、堤防の全面開削を伴うような大規模な工事を必要とせず、既設の樋管をなるべく改造しない工法の開発および提案を目的とした。また既存のグラウト工法等に比べて、進行性のある地盤沈下による「水みち」の拡大に対しても遮水効果が永続的で、補修コストも改築よりは安価な工法となるような工法の選定を行うこととしている。さらに選定された対策工法のなかから、実効性のあるものについて実証実験を行い、対策工法としての評価を行うことを目的としている。

なお、本報は土木研究所、(財)土木研究センターおよび共同研究参画企業6社間で行われている「樋門・樋管の土質改良施工技術の開発に関する共同研究」の研究成果である。

3. 対策工法の選定

3.1 遮水対策技術の現状

既設の樋管の遮水対策として、現状の技術で考えられる工法をまとめたものが表-1である。本研究開発では、永続的な遮水対策を研究開発することとしたが、このような対策内容としては以下の3つの方式が考えられる。このうち、「河川水の侵入阻止」については鋼矢板等による施工実績があり、また「パイピング防止」については、他の研究部門にて開発研究が進められているため、本研究開発では施工実績の少ない「遮水壁による水みちの遮断を土質改良で行う工法」について開発検討するものとした。

3.2 遮水対策工法の選定と根拠

樋管周辺の遮水を目的とした土質改良工法の条件として、次のものが考えられる。

- (1) 既設の樋管周囲の地盤改良が可能であること。
- (2) 遮水性を考慮し、確実に改良体が構築できること。
- (3) 堤防の機能を損なうことや堤防を損壊させるおそれのないこと、さらに周辺環境にも配慮されたものであること。

また、現場での実用化を念頭に極力既存の技術

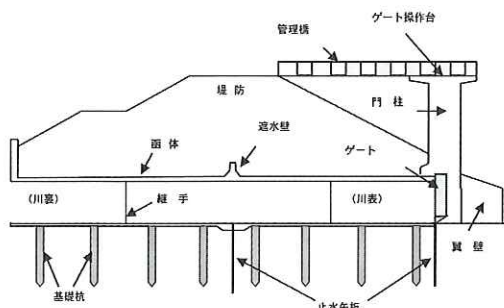


図-1 樋管の一般構造図

Development of a Method for Cut off the Water Leakage Through the Embankment on the Periphery of Sluiceway

表-1 樋管周辺の遮水対策工法

対策内容	対策方法	具体的工法の例
川表側での遮水により河川水の侵入を防止	連続矢板打設	鋼矢板工法、コンクリート矢板工法
	遮水シート敷設・接合	合成ゴム系、合成樹脂系、アスファルト系、ベントナイト系
樋管周辺をとりまく遮水壁により水みちを遮断	止水板方式	止水鋼板設置、止水鋼矢板設置、止水シート設置
	連壁方式	高圧噴射攪拌工法、ソイルセメント地中連続壁工法、泥水固化工法
川裏側での押えによりパイピングの発生を防止	押え盛土	押え盛土工法
漏水個所の補修(従来工法)	水圧バランス方式	水圧バランス工法、月の輪工法
	底版下の空洞の補修	注入工(セメント系、ウレタン系、懸濁系)
	継ぎ目、クラックの補修	可撓性継ぎ手、伸縮性樹脂充填
	堤体の空洞、クラック、緩みの補修	切り返し、締め固め、注入工
	護岸、堤体表面損傷の補修	修復、整形

を応用することで施工コスト高を防ぐものとした。これらの条件を考慮した結果、高圧水と空気のジェットにより地盤を切削し、その空間に充填材を注入する土質改良工法(図-2)を採用することとした。

本工法は、次の手順にて施工される。

- 1) ボーリングマシンにより、改良深さまで削孔および造成管の挿入を行う。造成管は多重管となっており、高圧水+空気の噴射、充填材の注入が可能なものとなっている。
- 2) 噴射水に高い圧力を与え、空気を併用して回転する造成管先端のノズルから高速で噴射させ、そのエネルギーにより地盤組織を極めて短い時間で破壊することで放射状の地中切削を行う。
- 3) 切削部分に充填材を造成管の先端から注入する。これらが固化すると切削形状に倣ったパイル状の改良体が地中造成される。
- 4) 地中切削と充填を繰り返すことで所定の高さの改良体を構築する。

切削の際の噴射水と土粒子の混合物は造成管と削孔とのすきまから地上に排出される。このようにして築造された改良体が連続壁状に構築されることで、函体周辺の遮水を行うものである。

以下に本工法の特長を示す。

- (1) 既設の樋管を損傷させない。
- (2) 改良径を0.8mから3.0mまで設定でき、幅2.5m以下の樋管に対しては函体中央を削孔することなく非破壊で施工できる。
- (3) 空洞部が存在するようゆるい地盤においても、高品質の改良体が構築できる。
- (4) 水密性が高く、函体との付着が期待できる。
- (5) 深層部から浅層部まで改良できる。
- (6) 体積収縮や強度低下が小さく、耐久性がある。
- (7) 狭い天端上での施工が可能。

4. 実大実験

土質改良による遮水対策工法の実用性を確認す

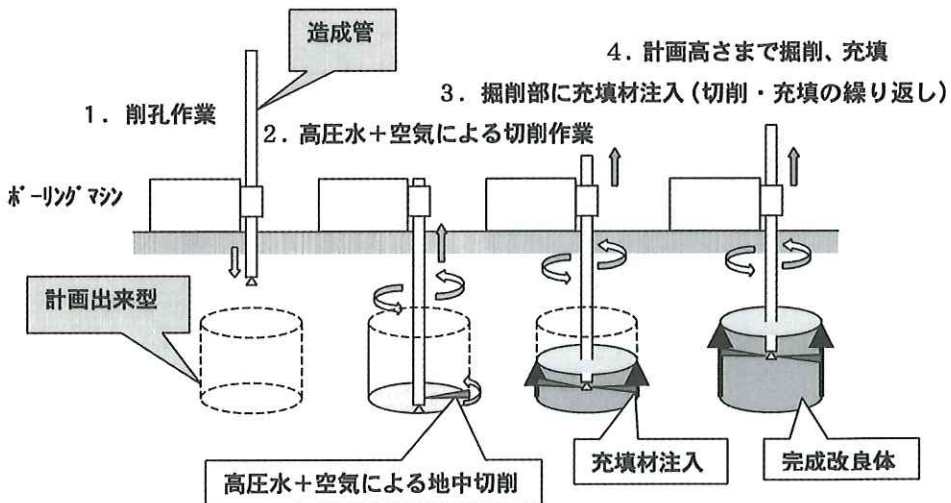


図-2 土質改良工法施工順序

ることを目的とし、土木研究所構内に実大規模の盛土と樋管をつくり、土質改良による遮水壁構築実験を行った。(写真-1)

4.1 実験方法

(1) 実験検証項目

実大実験にて検証する項目と方法を以下に示す。

1) 土質改良による遮水壁構築技術の実用性検証

実大規模の堤体模型を用いた樋管周辺の土質改良による遮水壁構築を行い、その施工性・実用性を検証する。施工後、所定の土質改良体が造成されているか盛土を開削して改良体を露出させ、形状・寸法を観察する。

2) 連続遮水壁としての機能検証

充填材が隙間なく固結しており、隣接する充填材との結合も確実にされているか目視確認する。函体周辺の改良、付着が連続して行われていることで、遮水機能の有無を評価する。また必要に応じて、コア抜きなどのサンプリングを行い、物性値を確認する。

3) 既存の函体・堤防への影響

改良施工中および施工後の函体の挙動、盛土への影響、環境への影響を観察する。

4) 実用化に向けた課題の抽出

今回の実験を通じて、確認された課題をまとめ、今後の検討項目とする。課題をもとに本対策技術の実用性を評価する。なお、今回は限定された条件下での実大実験であることを評価の際に考慮する。

(2) 実験条件

実験用として、底面: 17×17m、天端10×10m、高さ7mの堤体模型を造成した。対象となる樋管の大きさについては一連で幅1.0～3.0m程度と考え、樋管をガイドパイプが貫通するケースも考慮し、人間が中で作業できる空間を確保するために、内側を1m程度確保したものとした。底面から2mの位置に、函体に相当するボックスカルバート(1.35×1.35×2m)を6本直列に敷設した。

土質改良範囲については、遮水性、樋管の位置や土被りを考慮し、上部改良: 1m、樋管: 1.35m、

下部改良: 1mで、高さ3.35m、幅4.85mとした。函体左右の改良体中心は、改良体外縁が函体にかかるものと改良体が50cm函体にラップさせるものとし、施工位置の違いが改良体と函体との付着に与える影響を確認した。(図-3参照)

(3) 盛土材料

盛土材料については、実際の堤防と同様の山砂を使用した。締固め密度については、最大締固め密度の90%以上を確保するような施工方法を確認し、それを適用することとした。また締固め密度は各層ごとに確認し、盛土の品質確保に努めた。

(4) 実験施工フロー及び使用機器類

本実大実験の施工フローを図-4、使用された機器類を表-2に示す。いずれも汎用的なものを採用

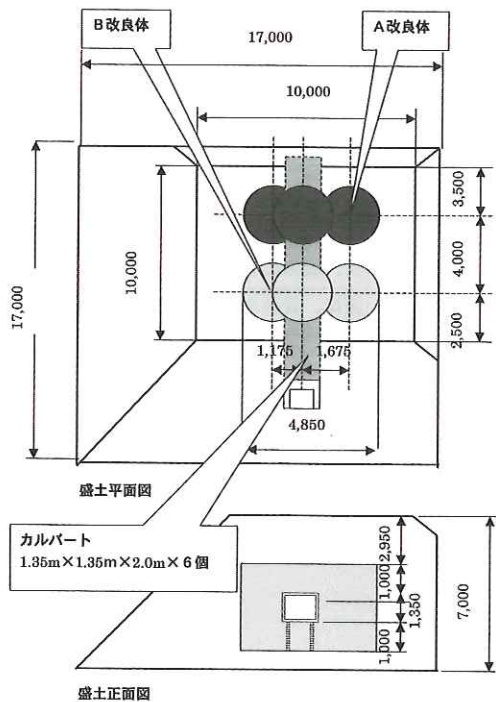


図-3 実大実験用盛土一般図

表-2 主要施工機械一覧

名 称	規格・仕様	数 量	備 考
スラリープラント	20m ³ /h	1式	
ボーリングマシン	11kW: 油圧式	1台	
エアーコンプレッサー	5m ³ /min	〃	
超高圧水ポンプ	100kW	〃	
モルタルポンプ	11kW (充填材用)	〃	
グラウトポンプ	イグニッション ポンプ	〃	可塑性材用
グラウトミキサー	縦型2槽200l	〃	〃



写真-1 実大実験用盛土(堤体模型)

している。

(5) 充填材

遮水を目的とした土質改良体の材料となる適切な充填材を選定するため、平成13年度において室内実験を行った。選定条件は以下のとおりである。

- 1) 水中での施工が可能（不分離性）
- 2) 函体（コンクリート）との付着力がある
- 3) プリージングが少ない
- 4) 体積変化が少ない
- 5) 初期強度が大きい
- 6) 無公害性の高い硬化材である

室内実験の結果、表-3の材料を成分とする2種類（ここでは、A材、B材と称する。）が充填材として適当と判断され、双方の現場適用性等を確認するため同一条件で各1ヶ所の改良を行った。

(6) 改良体形状寸法および施工数量

改良体の厚さは所定の遮水性が確保できることが必要となる。改良体の透水係数は $k = 1.0 \times$

10^{-6}cm/sec 以下であり、改良体の厚さ（幅）は10cm程度以上あれば十分といえる。今回の実験では函体の幅から、1本当たりの改良体の径を2mとし、一部を重複させることで厚さを確保した。また函体周辺は上下左右1mの範囲を改良範囲とした。

また、本実大実験において、構築する土質改良体の施工数量を表-4に示す。有効径2mを標準に函体左右に2本と函体部に1本からなる改良柱を連続させ、遮水壁としている。今回の改良体は有効径2mであり、函体の左右からの施工で函体周辺を一体化できるが、函体下部の土質改良を確実にを行うため函体中央を削孔し、ガイドパイプを立てその中に造成管が貫通するものとした。この遮水壁をA、B材にてそれぞれ構築した。

(7) 施工仕様

実大実験での施工仕様を表-5に示す。

4.2 実験結果と考察

実験盛土を開削して遮水壁を露出させ、出来型

表-3 充填材成分表

項目	A材	B材
主 材	普通ポルトランドセメント	普通ポルトランドセメント
急硬材	—	カルシウムアルミネート
調整剤	—	アルカリ炭酸塩
可塑剤	セルロースエーテル+水	ポリマー系+水

表-4 土質改良施工数量

項目	A材		B材	
施工本数（本）	2	1	2	1
造成長（m）	3.35	2.00	3.35	2.00
充填材（m ³ ）	25.8	7.70	26.8	8.01

表-5 土質改良施工仕様

名 称	使用材	仕 様		
先行切削	水	吐出压力 (MPa)		40
		吐出量 (l/分)		115
	空 気	風圧 (MPa)		0.7
		風 量 (l/分)		3.0
材料充填	主 材	吐出压力 (MPa)		1.0
		吐出量 (l/分)	A	240
			B	230
	可塑剂	吐出压力 (MPa)		1.0
		吐出量 (l/分)	A	20
			B	20
造成時間		切削 (分/m)		16
		充填 (分/m)		14

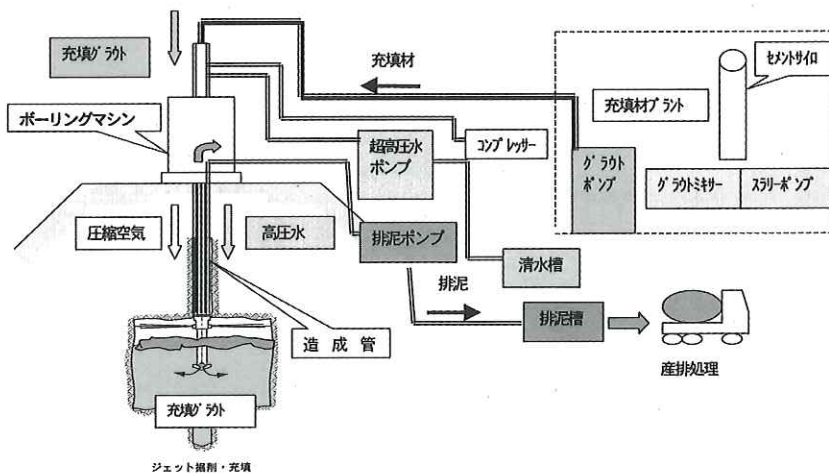


図-4 土質改良施工フロー

等を観察した。遮水壁の外形寸法を図-5 (A材)、図-6 (B材) に、これらの写真を写真-2に示す。改良体の施工結果から今回の実大実験において、以下のことが判明した。

(1) 土質改良による函体周辺の遮水壁構築

施工中の盛土の状況を観測したが、盛土の崩壊、切削水の漏水、変形などは生じなかった。今回の実験範囲においては、盛土に対し、安全な工法であったと言える。また、実験盛土を開削したところ、計画とおりA、Bとも自立する強度を持つ遮水壁が露出した。この改良体外形と計画図を比較すると、函体左右の改良体については地中切削時の影響と思われる水平方向の凹凸が見られたが、ほぼ計画径の2m以上の改良体が函体との隙間もなく一体となって構築できた。しかし、函体中央部の改良体についてはA、B材とも計画径に満たない部分が函体上部近傍に存在した。さらに函体底部付近には、一部空洞や未改良部が見られた。

遮水を目的とした改良体の一部にこのような未改良部の発生は問題であるため、原因の特定を試みるため、当時の改良体施工状況の確認、未改良部形状の詳細な調査を実施した。この結果、原因として推察されるものとして、函体下部の充填不足、切削土砂の排出不良、設計造成長の不足、先に施工した中央部の改良体が左右改良体の施工時の影響を受け、その一部が飛散したなどであるが明確な原因把握には至らなかった。このため、本研究では函体下部の土質改良を行う再実験を計画しているところである。

A、B材の外観上の相違点としては、B材には改良体中心から放射状にクラックの発生が見られた。固化後の体積収縮によるものと考えられる。また、A材の方が側面の凹凸が鋭角であった。いずれも配合内容の違いによるものと推察されるが、遮水機能からするとクラックのないA材のほうが適当と思われる。

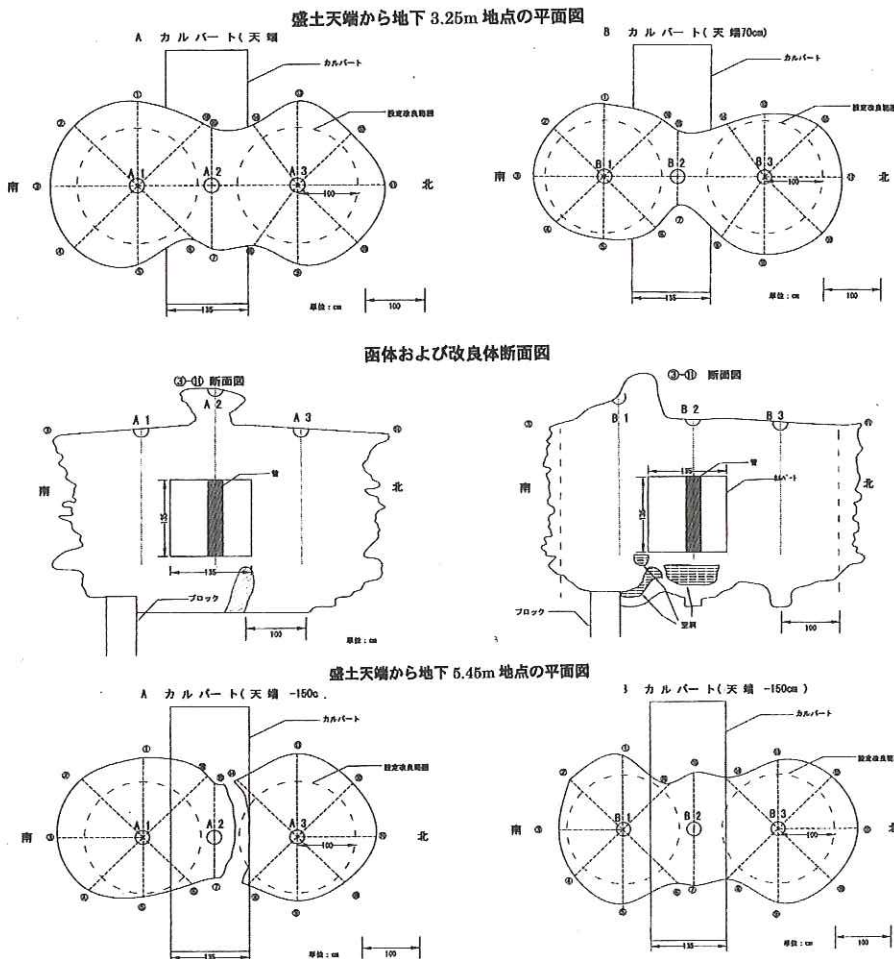


図-5 A材改良体外形図

図-6 B材改良体外形図

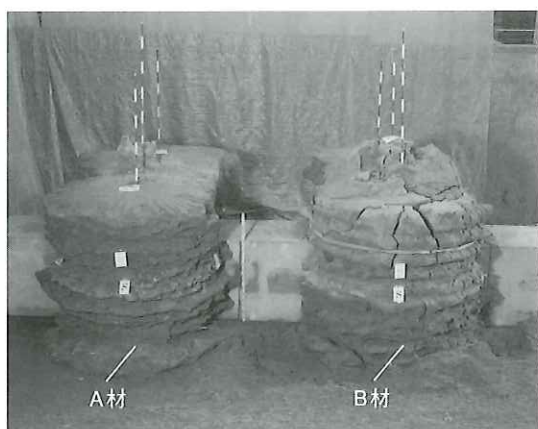


写真-2 改良体構築状況

(2) 改良体の強度・性状、函体との付着

充填材を試料として行った強度試験では、最も高い圧縮応力でA材4週強度が平均 18.5N/mm^2 、B材4週強度が平均 13.3N/mm^2 であった。セメント量の違いが結果に反映されたものと考えられる。しかし、他の試料ではこのような強度がでず、地中で固結した場合は周囲の土砂と混合したため、強度が低下したものと考えられる。また、改良体と函体が付着することで、遮水性が保たれると考え、改良体と函体との付着状況について、目視確認した。その結果、A材、B材いずれも函体と改良体は密着しているもののモルタル分による付着部分と簡単に剥離する部分があることがわかった。改良材としては、A材のほうに付着部分が多く見られた。(写真-3)

(3) 土質改良工法の施工性

今回の実験では、 34.8m^3 と 33.5m^3 の改良体をそれぞれ構築した。この間大きな施工上のトラブルも発生せず、所定の作業が実施できた。大規模な仮設工が不要なことや施工法が比較的単純であるためと思われる。今回の施工実験では、 34.8m^3 と 33.5m^3 の改良体を延べ11日間で構築している。改良体造成は1日1本の速度で施工できた。

実現現場での施工に関し、天端の施工機械スペース以外にセメントプラントなどの施工ヤードの確保(本実験でおよそ 100m^2)、汚泥処理方法の確保(本実験で 110m^3 の汚泥が発生)、土質条件等が見合えば、良好な施工性を示すものと考えられる。

なお、施工後の函体の損傷、変形は認められていない。

(4) 環境への影響

土質改良により、遮水壁を構築する技術では施工中の土砂混じり切削水、セメント分を含む処理水の発生が見込まれる。これらが直接河川に流入することのないよう対策が必要となる。今回の実験では、処理水槽に貯留し、コンテナ車にて搬出後産業廃棄物として処理した。実施工では、発生量の抑制などの対策が必要となる。また騒音、振



写真-3 A材による付着状況(一部)

動についてはジェットグラウト中の作業騒音が作業場所から20m地点で L_{A5} 69dB程度(屋内参考値)であった。振動は盛土天端で L_{10} 水平方向87dB、鉛直方向82dBであった。(平均値)

5. まとめと今後の課題

実大の盛土と樋管を使用した限られた条件下での屋内実験ではあったが、地中函体周辺の土質を改良し、遮水壁を構築することができた。しかしながら、以下の課題も発生しており、実用化に向けては解決する必要がある。

- (1) 函体中央部の一部に発生した未改良部の解消
- (2) 発生汚泥、濁水処理の方法
- (3) 地中遮水壁の構築状況確認方法
- (4) 改良後の地盤沈下による空洞発生への対処
- (5) 実現現場に見られる浸透水、玉石、れきへの対応

今後、これらの課題の対策に向けた検討を行うとともに、遮水対策工法として本工法の施工要領をとりまとめたい。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター編「改訂 解説・河川管理施設等構造令」(社)日本河川協会
- 2) (財)国土開発技術研究センター編「柔構造樋門設計の手引き」(社)日本河川協会

荒井 猛*



国土交通省関東地方整備局
下館河川事務所機械課長
(前) 独立行政法人土木研究所
技術推進本部先端技術チーム主任研究員
Takeshi ARAI