山留支保工の工法選定に関する研究

A STUDY OF DESIGN MODELS OF RETAINING SUPPORTS IN EXCAVATION WORKS

間瀬 惇平*, 南林 和**, 寺林 肇**, 桂 純二***
*Junpei MASE, Kazu NANBA YASHI, Hajime TERABA YASHI
and Junji KATSURA*

Due to an increase in developments that are concentrated in urban areas, excavation in building construction has deepened and widened. Consequently, it has become more critical to consider the influence on neighborhood and public nuisance during construction. Underground works occupy a large part of construction costs and periods, thus being regarded as most important. This study presents planning of excavation works in building construction at an early stage.

The authors have suggested the design models for planning of retaining supports:

- 1) The authors have suggested three logics for planning of retaining supports identified by three Zones (A, B and C) which are categorized by degrees of Depth and Area of excavation.
- 2) The authors have analyzed cases which belong to Zone A (small and medium-sized excavations) and Zone B (large and deep sized excavations).
- 3) Especially, in Zone B, the authors have testified the possibility of an appropriate planning method of retaining support by the logic introduced from statistical discriminate analysis.

Keywords : Excavation works, Retaining support, Statistical analysis, Design model
掘削工事、山留支保工、統計的判断、推定モデル

1. 緒言

建設工事においてコストや工程的に地下工事の占めるウエートは大きい。特に、都市部において、地下の高度利用や近隣環境への影響などから、地下工事の適正な計画・実施の重要性は増大している。

しかしながら、地下工事に関する施工計画・管理技術の歴史は浅く、それらについての方法論が十分確立しているとは言い難い。

建築工事における地下工事（根切山留工事）の計画とその施工に関しては、

- ① 掘削地盤の土質性状と地下水状況
- ② 掘削地盤の形状と深さ、広さ
- ③ 新設建物の骨組と基礎構造
- ④ 近隣状況・敷地内外の状況
- ⑤ 工期・経済性・社会情勢・法的規制等

の各種要因がその都度異なるため、ケースバイケースで行われている。¹⁾

この内、山留壁及び支保工の選択の基準については目安²⁾として

定性的には与えられているが、定量的な統計的判別分析手法によって報告されたものは筆者ら^{3) 4)}の研究が最近なされた状況で、いまだ緒についたところである。

そこで本論文では地下工事における過去の実績調査分析を行い、判別分析による工法推定モデルを構築すると共に、実務経験に基づく工法選定のモデル案を提案する。

山留壁の工法推定に関するモデルの構築と、その比較検討については、参考文献³⁾に詳述されているので、本論文としては省略し、山留支保工の工法推定モデルの構築とそれらに関する下記の技術的考察を加えることとする。

- ① 仮設工事としても山留支保工としては、最も一般的に使用されるのは、鋼製（H型钢）井型切梁工法（以下、井型切梁と呼ぶ）である。そこで統計手法により、この井型切梁工法の採用例を分析し、採用条件を明らかにする。
- ② 次に、大規模・大深度山留に多く採用される、特殊工法としての「組立集中切梁工法」（以下、集中切梁と呼ぶ）、「地盤

* 大成建設㈱建築本部建築部

** 大成建設㈱建築本部建築技術部

*** 大成建設㈱東京支店

Building Construction Dept. Building Construction Div., Taisei Corporation
Technology Promotion Dept. Building Construction Div., Taisei Corporation
Tokyo Branch, Taisei Corporation

アンカー工法」(以下、地盤アンカーと呼ぶ)、「逆打工法(1階床先行工法含む)(以下、逆打と呼ぶ)」事例を統計手法により分析し、その採用条件を明らかにする。

これらのことを明確にすることにより、工事計画の初期段階の山留支保工選定を容易にし、より適切な山留工事の手順、方法、施工計画を可能にする。

2. 山留支保工における工事の実績の分析

2.1 山留支保工の実績データ

本報で用いる地下工事の実績データは、参考文献^{3) 4)}で用いたデータをもとにその一部を使用した。工事着工年の範囲は地盤アンカー工法が出現した1972年以降1986年までの工事を対象とした。地域としては主として第4期堆積層(沖積層、洪積層)からなる本州6地域(東京、大阪、名古屋、東北、広島、横浜)における工事データを対象とした。また、掘削規模としては井型切梁1段が架かる最小規模から工区分けなどによる複合的な施工を行わない範囲での最大規模までとして、掘削深度は4m~2.5m、掘削面積は200m²~8000m²の工事を対象とした。地域別工事件数を図1に、山留支保工毎の工事件数を図2に示す。

図1 地域別工事件数

図2 支保工種別毎の工事件数

地域別の工事件数は東京地域が全体の約半数を占め、以下、東北、大阪と続いている。支保工種類としては井型切梁が全体の約半数を占めている。続いて、逆打工法(一階床先行工法を含む)、自立・法切、地盤アンカー工法、集中切梁工法の順で採用件数が多い。

本分析のための説明変数には、最も一般的な工法である井型切梁の採用の可否を判断する指標としての掘削規模(掘削深度、面積)及び土圧、地下水の影響等、更に切梁の架構の可否あるいは適・不適を判断する指標としての敷地形状、及び地盤性状等、また、逆打工法採用に影響を与えと考えられる工程条件などから以下の9項目を選択する。

- ① 掘削深度(m)
- ② 掘削面積(m²)
- ③ 敷地平面形状(平面形状の複雑性を4段階の重みとして示す。矩形を1とする。一辺が斜めの形を2とする。多角形を3とする、不整形を4とする。)
- ④ 水位差(掘削深度と地下水位の差)(m)
- ⑤ 平均N値

(地表面から根切底までの土の平均N値)

- ⑥ 砂の割合(0~1)

(地表面から根切底までの土に占める砂の割合)

- ⑦ 砂のN値

(地表面から根切底までの砂の部分の平均N値)

- ⑧ 粘土N値

(地表面から根切底までの粘土の部分の平均N値)

- ⑨ 全体工期(月数)

文献⁴⁾では粗粒土厚が支保工選定に大きく寄与しているとの報告があり、説明変数に粗粒土厚、細粒土厚を取っている。本分析では砂の割合が同等の寄与をする判断し、説明変数を絞った。

2.2 山留支保工の工法の種類とその特徴

図3に各支保工に対する掘削深度の箱ヒゲ図(分析対象データ239件について)を示す。

図3 支保工に対する掘削深度の箱ヒゲ図

井型切梁、アイランド、自立・法切工法は相対的に掘削深度の浅い工事に適用されていることがうかがえる。地盤アンカー工法は中間的な深度の工事に適用されている。集中切梁は掘削深度深いものに多用されている。

図4 支保工に対する掘削面積の箱ヒゲ図

図4に各支保工に対する掘削面積の箱ヒゲ図(分析対象データ239件について)を示す。井型切梁、逆打工法は相対的に掘削面積の小さい工事に適用されていることがうかがえる。逆打工法は掘削面積の大きい工事での適用もある。

図3、図4から支保工法を以下の4つのグループに分類する。

- (a): 中小規模に多い井型切梁工法グループ
- (b): 大規模、大深度に多い集中切梁、地盤アンカー、逆打工法グループ
- (c): 大規模だが浅い工事に多いアイランド、自立・法切工法グループ
- (d): 併用・その他の工法グループ

支保工法と掘削面積、深度に相関関係がうかがえる。分析対象2

39件の事例を掘削面積と掘削深度でプロットした。図5にグループ(a), (b)を、図6にグループ(c), (d)をプロットした。

図5 (a), (b) グループプロット図

図6 (c), (d) グループプロット図

2.3 山留支保工選定における経験者のロジック

図3から図6を元に山留工事の計画・管理に携わってきた経験を加味して、(a)から(d)グループの分類ロジックを考察すると以下のよう可以说える。

- ① (a)グループ(井型切梁工法)は中小規模の面積、深度をカバーする。図5によると面積の上限は2500m²(50m×50m)あたりにありそうである。
- ② (a)グループ(井型切梁工法)は一般的に地下2階位までは大丈夫である。図5でもそれがうかがえる。
- ③ 掘削面積が小さめの場合は地下3階程度まで井型工法が採用される。この場合の面積の上限は1600m²(40m×40m)程度と考えられる。
- ④ (c)グループのアイランド、自立・法切工法は掘削深度8m程度のところに限界がありそうである。
- ⑤ (b)グループの集中、地盤アンカー、逆打工法は上記①～④以外のゾーンをカバーしている。
- ⑥ (d)グループの併用工法とその他工法は広い範囲に存在している。実施例をあたと、地下工事で区分けがある場合や敷地に高低差があり、辺毎に土圧条件が変わるなど、今回の統計的分析のためのデータ(説明変数)では表現が困難なものが大半である。よって、(d)グループは工法選定ロジックの対象外とする。

以上のことから掘削面積と深度による二次元エリアをA, B, C

の3ゾーンに分けることとする。A, B, Cの3ゾーンを図9に示す。Aゾーンは掘削深度16m以下かつ掘削面積1600m²以下のエリアまたは掘削深度12m以下かつ掘削面積2500m²以下のエリアとする。Cゾーンは掘削深度8m以下かつ掘削面積2500m²超のエリアとする。BゾーンはA, Cゾーン以外のエリアとする。

図7 支保工選定ゾーン

2.4 Aゾーン(中小規模掘削工事)事例の判別分析

Aゾーンの事例について判別分析を行った。支保工種別毎の事例件数を図8に示す。支保工なしのもの(自立・法切)、アイランドは井型切梁工法と条件がかなり異なると考えられるので判別の対象外とした。

図8 サンプルのヒストグラム

判別分析の結果を表1に示す。このゾーンはまったくの井型切梁ゾーンとすることができる。他の工法の特徴は判別されなかった。

表1 Aゾーンの判別分析結果

真の群	判別された群 単位:件				判別の成功率(%)
	井型	集中	地盤アンカー	逆打	
井型切梁	99	0	0	1	99%
集中切梁	4	0	0	0	0%
地盤アンカー	9	0	0	0	0%
逆打	17	0	0	1	6%
合計	129	0	0	2	76%

支保工種類に対する各説明変数の箱ヒゲ図を図9～16に示す。箱ヒゲ図から読みとれる特徴を表2にまとめた。

また、Aゾーン内の井型切梁以外の工法選択事例について選択理由を考察した。Aゾーンでは分析のための説明変数では判別できないため、説明変数以外の条件が何らかの形で影響を及ぼしていると考えられる。それらの条件と考えられるものを抽出し、条件No. (A-1～A-6)を付して表3に整理した。

表2 Aゾーンの支保工の特徴

特 徴	図番号
平面形状が複雑だと逆打傾向あり	図 9
掘削深度大きめ (>8m) は逆打傾向あり	図 10
掘削面積大きめ (>800~1200 m ²) は地盤アンカー傾向あり	図 11
地下水多い (>4.5m) と逆打傾向あり	図 12
N値が小さい (平均N値<=15) と逆打傾向あり	図 13
地盤がゆるい (砂のN値<=15) と逆打傾向あり	図 14
地盤が軟らかい (粘土N値<=3) と逆打傾向あり	図 15
逆打は工期が長め (>14月) の傾向あり (工期余裕必要)	図 16

表3 Aゾーンで井型切梁以外が選定される条件

条件 No.	支 保 工 種類	選択条件	事例 件数
A-1	集中	細長い敷地で一方向の集中切梁	3
A-2	集中	改良井型による集中化	1
A-3	地 盤 ア ンカー	敷地高低差がある、または1辺が隣 接建物の地下で切梁が架けにくい	9
A-4	逆打	極度の軟弱地盤	10
A-5	逆打	敷地不整形のため	6
A-6	逆打	周辺道路が狭く、作業床が必要	2

図 9 平面形状

平面形状が複雑だと
逆打傾向あり

図 10 掘削深度

掘削深度大きめ
(>8m) は
逆打傾向あり

図 11 掘削面積

掘削面積大きめ
(>800~1200 m²) と地
盤アンカー傾向あり

図 12 地下水位差

地下水位差が大きい (>
4.5m) と逆打傾向あり

図 13 平均N値

N値が小さい
(平均N値<=15) と逆
打傾向あり

図 14 砂のN値

地盤がゆるい
(砂のN値<=15) と
逆打傾向あり

図 15 粘土N値

地盤が軟らかい
(粘土N値<=3) と
逆打傾向あり

図 16 全体工期

逆打は工期が長め
(>14月) の傾向あり
(工期余裕必要)

2. 5 Bゾーン (大規模大深度掘削工事) における集中切梁、地盤アンカー、逆打工法の判別分析

次にBゾーンの事例について判別分析を行なった。Bゾーンには井型切梁の施工例も含まれているが、2. 1節で述べたように、このゾーンを集中切梁、地盤アンカー、逆打工法を適用するゾーンと考え、この3群について判別を行った。また、このゾーンにおける井型切梁が選定される条件については後述する。

2. 1節に示した9項目を説明変数、「集中切梁」、「地盤アンカー」、「逆打」の3群を目的変数として、事例データに対して正準判別分析を行い、判別関数式1及び式2を得た。

$$X = -3.95698 \times \text{砂の割合} - 1.06886 \times \text{平面形状} - 0.01516 \times \text{地下水位差} - 0.03358 \times \text{平均N値} - 0.00013 \times \text{掘削面積} + 0.157228 \times \text{掘削深度} - 0.03424 \times \text{砂のN値} + 0.007622 \times \text{全体工期} + 3.567565 \quad \text{式1}$$

$$Y = 3.910225 \times \text{砂の割合} - 0.09166 \times \text{平面形状} + 0.098696 \times \text{地下水位差} - 0.07553 \times \text{平均N値} - 0.00028 \times \text{掘削面積} + 0.126627 \times \text{掘削深度} - 0.01514 \times \text{砂のN値} - 0.06897 \times \text{全体工期} + 0.009001 \quad \text{式2}$$

サンプルの支保工種別毎の件数を図17に示す。

図 17 サンプルのヒストグラム

この分析では、目的変数が3群であるので、正準判別分析の結果は二次元の正準判別空間上の位置として表現できる。各工事の説明変数の値を式1、及び式2に代入して得られる判別得点をそれぞれx座標、y座標としてプロットしたものが図18である。図中の各群の「重心」とは、各工法別の説明変数とした9項目のうち、判別関数に採用された8項目の平均値を式1、及び式2に代入して得られた判別得点x、yの座標値である。

図18 Bグループの判別結果散布図

図18で○（集中切梁）、□（地盤アンカー）、◇（逆打）はそれぞれの工事において実際に採用された支保工の工法を示している。また、例えば集中切梁領域内にプロットされた工事の支保工は、この判別分析により集中切梁に判別されたことを表わしている。同様に地盤アンカー領域内の工事は地盤アンカーに、逆打領域内の工事は逆打工法に判別された工事であることを表わしている。この3つのゾーンの各領域は3つの群の重心を頂点とする三角形の各辺の垂直二等分線で区切られている。

判別分析の精度を表4に示した。

表4 Bゾーンの判別精度

真の群	判別された群			判別的中率(%)
	集中切梁	地盤アンカー	逆打	
集中切梁	16	0	0	100%
地盤アンカー	1	9	0	90%
逆打	0	0	13	100%
合計	17	9	13	97%

大規模工事であるBゾーンでは集中切梁、地盤アンカー、逆打工法の選定条件が97%の精度で判別された。

各工事の判別空間内の位置について、領域の重心に近いものほど判別条件が良い。領域境界にあるものは隣接する領域の傾向を有していると考えられる。また、重心から遠い位置にあるものについてもその特性を検討しておく必要がある。領域の境界付近及び重心から遠い位置にある事例についてその特徴を確認し、表5に示した。

表5 判別空間領域の端にある事例の検証

	集中切梁	地盤アンカー	逆打
領域の境界	アンカーゾーンに近いものは1段目にアンカーを併用していた	3件の内1件は1段目に法切工法を採用していた	3件の内2件は一階床先行で下部は鋼製切梁を採用していた
重心から遠い	1件：適正な集中切梁	1件：適正な地盤アンカー	1件：適正な逆打

領域境界付近の工事は予想通り隣接領域の傾向が若干見受けられるが実施及び判別結果の工法は妥当と考えられる。また、重心から遠いものについては特殊な条件は見出せなかった。

表6に分類関数の定数項を示す。各目的変数及び説明変数毎の値は各説明変数に対して大きい値の方がより強い相関関係を示している。表6及び図19～26の箱ヒゲ図から各支保工の特徴を抽出し表7にまとめた。

表6 分類関数の定数値

	集中	地盤アンカー	逆打
砂の割合	12.44376	19.734638	30.52822
平面形状	1.234492	5.00179	4.51468
地下水位差	0.188744	0.0855566	0.375066
平均N値	-0.01674	0.215409	-0.01526
掘削面積	0.002213	0.0030942	0.002236
掘削深度	0.940347	0.2089717	0.616016
砂N値	0.075091	0.2148871	0.163121
全体工期	0.311538	0.3937251	0.190809
定数	-19.9366	-33.03941	-31.3176

表7 集中切梁、地盤アンカー、逆打工法の特徴

特 徴	図の No.
砂の割合が多い (>0.5) と逆打傾向あり 少ない (<0.4) と集中切梁の傾向あり	図24
平面形状複雑なものは地盤アンカー傾向あり 集中切梁は整形な土地の利用が多い	図19
掘削面積広いと地盤アンカーの傾向あり	図21
平均N値が大きいと地盤アンカー傾向あり	図23
掘削深度が大きいと集中切梁の傾向あり	図20
砂のN値が小さい場合 (<20) は集中切梁傾向あり	図25
地下水位差が大きい場合 (>6m) は地盤アンカーは選択されない傾向あり	図22
逆打の場合は工期が短い傾向がある	図26

図19
平面形状複雑なものは地盤アンカー傾向あり
集中切梁は整形な土地の利用が多い

図20
掘削深度が大きいと集中切梁の傾向あり

図 2 1

掘削面積広いと地盤アンカーの傾向あり

図 2 2

地下水位差が大きい場合 (>6m) は地盤アンカーは選択されない傾向あり

図 2 3

平均N値が大きいとグラウンドアンカー傾向あり

図 2 4

砂の割合が多い (>0.5) と逆打傾向あり
少ない (<0.4) と集中切梁の傾向あり

図 2 5

砂のN値が小さい場合 (<20) は集中切梁傾向あり

図 2 6

逆打の場合は工期が短い傾向あり

次に、Bゾーンにある井型切梁の選定理由について考察する。該当する事例について判別関数に当てはめて、集中切梁、地盤アンカー、逆打のどの領域に落ちるかを図27に示す。

Bゾーンで井型切梁が採用されるケースは判別空間の逆打領域にある場合が多い。箱ヒゲ図による比較でも図21～25では逆打と似た傾向を示している。図19によると敷地平面形状が不整形のも

のに圧倒的に多いことがわかる。但し、井型切梁とは言っても実態は補強を施したH型钢材単材による特殊な割り付けの、かなり複雑な架構ということが言える。

図 2 7 Bゾーンにある井型切梁の判別空間内の位置
(数値はサンプル番号)

図27にプロットされた井型切梁事例について、各領域ごとに考察を加えた結果を表8に示す。

表 8 Bゾーンにある井型切梁の選定理由考察

条件No.	該当領域	井型切梁選定理由	件数
B-1	集中切梁	多角形で集中切梁が架けにくい	1
B-2	集中切梁	Aゾーンに近い	1
B-3	地盤アンカー	近隣の制約でアンカーが打てない	2
B-4	地盤アンカー	規模・形状的にはアンカーが最適のようだが、細長い敷地かつ地盤が軟弱	1
B-5	逆打	地下構造上(杭無し、RCなど)支持真柱の採用に難点がある	4
B-6	逆打	本来、逆打が良い	4

3. 山留支保工選定モデルの提案

以上述べてきた分析結果より、山留支保工選定の手順を以下のよう考える。

3.1 インプット条件の調査

今回の分析対象とした9つの説明変数の内、判別分析で判別関数に含まれなかった粘土のN値を除く8項目をインプット条件とする。

- ① 掘削深度
- ② 掘削面積
- ③ 敷地平面形状
- ④ 水位差
- ⑤ 平均N値
- ⑥ 砂の割合
- ⑦ 砂のN値
- ⑧ 全体工期

3.2 ゾーンの特定

掘削深度、掘削面積よりどのゾーンに属しているかを特定する。

図 2 8 支保工選定ゾーン

3.3 Aゾーンに属している場合の工法選定

Aゾーンは井型切梁ゾーンである。基本的には井型切梁を採用する。但し、今回は分析対象外としたが、掘削深度が浅く、地盤が良い場合は自立・法切工法の採用可否を別途検討すべきである。

3.4 Aゾーンでの特殊条件のチェック

次に、Aゾーンでの井型切梁以外の工法の採用条件を表9の条件No. (A-1～A-6) (表3より導き出された)に従ってチェックし選定する。

表9 Aグループゾーンでの井型切梁以外を選定する条件

No.	選択条件	選択工法
A-1	細長い敷地で短辺巾が井型を組むほど広くない場合	長手両端を火打梁として、一方向の集中切梁
A-3	敷地高低差がある、または1辺が隣接建物の地下で切梁が架けにくい	地盤アンカー
A-4	地盤条件が悪い (平均N値 ≤ 15) (砂のN値 ≤ 15) (粘土N値 ≤ 2) (水位差 ≥ 4.5 m) (かつ、掘削深度 > 8 m)	逆打
A-5	敷地不整形 (かつ、掘削深度 > 8 m)	逆打
A-6	周辺道路が狭く、作業床が必要	逆打

注) A-2の条件は特殊なので選定のための条件からは除いた。

3.5 Bゾーンに属している場合の工法選定

Bゾーンの場合は式1、式2により正準判別を行う。

$$X = -3.95698 \times \text{砂の割合} - 1.06886 \times \text{平面形状} - 0.01516 \times \text{地下水位差} - 0.03358 \times \text{平均N値} - 0.00013 \times \text{掘削面積} + 0.157228 \times \text{掘削深度} - 0.03424 \times \text{砂のN値} + 0.007622 \times \text{全体工期} + 3.567565 \quad \text{式1}$$

$$Y = 3.910225 \times \text{砂の割合} - 0.09166 \times \text{平面形状} + 0.098696 \times \text{地下水位差} - 0.07553 \times \text{平均N値} - 0.00028 \times \text{掘削面積} + 0.126627 \times \text{掘削深度} - 0.01514 \times \text{砂のN値} - 0.06897 \times \text{全体工期} + 0.009001 \quad \text{式2}$$

3.6 Bゾーンでの特殊条件のチェック

判別空間内の位置 (領域境界や重心から遠い場合) による判定については表5に示した通り特に重視しなくて良い。

次に、Bゾーン内で集中切梁、地盤アンカー、逆打でなく井型切梁による架構を余儀なくさせられる条件を表10 (表8より導き出された) によりチェックする。

表10 Bゾーンで井型切梁を選定する条件

No.	井型切梁選定理由	該当する判別空間の領域
B-1	多角形で集中切梁が架けにくい	集中切梁
B-2	Aグループゾーンに近い	集中切梁
B-3	近隣の制約でアンカーが打てない	地盤アンカー
B-4	規模・形状的にはアンカーが最適のようだが、細長い敷地かつ地盤が軟弱	地盤アンカー
B-5	地下構造上 (杭無し、RCなど) 支持真柱の採用に難点がある	逆打

B-6の条件は本来逆打が適していると判断されるので井型切梁選定条件には含まれない。

3.7 Cゾーンに属している場合。

このゾーンは浅くて広大な掘削となるので、工区分けを考慮し、基礎、躯体工事の工程手順を考えながら工法決定をすることになる。広域にわたるため今回は選定ロジック提案から除外する。

4. 事例による検証

次に、分析対象以外の事例を選び検証を行った。対象データは最近の工事 (1981年～1997年) で雑誌等に発表された事例^{6)～33)}から井型切梁: 15件、集中切梁: 3件、地盤アンカー: 6件、逆打: 15件を無作為に抽出した。

A、B各ゾーン毎のサンプル数を図29に示す。

図29 検証データのヒストグラム

雑誌等に発表された事例では全体的にBゾーンに属する事例が多い。Aゾーンの事例^{6)～9)}では井型切梁が多く次に逆打の事例が続く。検証データからみても、Aゾーンは井型切梁ゾーンと言える。井型切梁以外が採用される条件はすでに述べたように、客観的に地盤条件等以外の要因で決まることが多いため、ここではこれ以上の検討は割愛する。Bゾーンは発表事例の多さからも判る通り工事全体に対する重要度が高いことがうかがえる。以下にBゾーンの検証及び考察を行なう。

Bゾーンについては判別分析結果より導き出された式1、式2により推定を行った (表11)。Bゾーンの提案モデルの検証結果としては集中切梁、地盤アンカー、逆打の推定精度は全体で80%とかなり信頼できる値を示している。

表11 Bゾーンの山留支保工選定モデルの検証

真の群	件数	提案モデルによる工法推定結果				推定的中率 (%)
		井型	集中	アンカ	逆打	
井型切梁	4		(3)	(1)		%
集中切梁	3		3			100%
地盤アンカー	6		1	5		83%
逆打	11		3		8	73%
合計	24		10	6	8	80%

また、図30に検証データについてすでに求めた判別式1) 2)を適用し、判別空間内の位置をプロットした。

図30 Bゾーンにある検証データの判別空間内の位置
サンプル中に井型切梁の事例が4例含まれていたが、集中切梁と

推定された3例^{26) 27) 30)}は表10の条件B-2のAゾーンに近いものであった。また、地盤アンカーと推定されたもの¹⁸⁾は近隣条件が地盤アンカー施工を許さなかった(表10の条件B-3)と文献には記述されている。検証データで特徴的なことは集中切梁領域に集中切梁以外の工法がかなり見られることである。集中切梁が適当と判断された地盤アンカーの事例²⁹⁾は掘削深度が深いことが影響しているようだが、実際は法切、アイランド工法を一部併用している。大規模で複合的に工法を併用する場合については更に検討が必要である。また、集中切梁領域に入った逆打事例^{24) 31) 33)}が3件あった。これらの内1例²⁴⁾は周辺環境を考慮して発注者から工法指定があったものである。また残り2例^{31) 33)}は品質向上や工期短縮を目指した新技術開発の事例であった。今後、ますます近隣環境への配慮が求められる、安全性を考慮した逆打工法(本設躯体利用)が増えていく萌芽が読み取れる。

5. 結言

本研究では「山留支保工の選定」に関して次のような結論とその技術的な考察を行った。

- ① 山留支保工計画にあたっては掘削深度、掘削面積によりA, B, Cの3ゾーンに分けて工法を検討すると、各工法の推定が簡明となる。
- ② Aゾーン(中小規模掘削工事)にあたる工事は井型切梁工法で殆どのものが対応可能であることを示した。また、井型切梁以外を選定すべき条件を示した。
- ③ Bゾーン(大規模大深度掘削工事)に関しては統計的手法により工法選定のための正準判別式を示した。

以上から、山留工事の専門家でなくても、客観的な地盤条件等のデータで山留計画の初期方針を立てることの可能性を示した。

今後の研究課題としては、今回の研究では盛り込めなかった工法選定上の要因(建物基礎形式との兼ね合い、近接構造物、道路等の近隣環境、敷地境界線と掘削領域の関係、工期、経済性等)についての定量的な分析を行い、施工計画管理の適正化を進めていきたいと考えている。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、早稲田大学名誉教授 田村恭先生には、研究全般についてご指導を頂きました。又、早稲田大学教授 嘉納先生には、その具体的内容について直接のご指導、ご鞭撻を賜り心より御礼申し上げます。

又、早稲田大学院生 金澤英紀氏、信田直裕氏、安富彩子氏にはデータ収集・解析に多大のご協力を頂きました。

大成建設株式会社 深海謙吉氏はじめ、各工事関係者には資料収集、整理にあたりご協力を頂きました。

ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山下丞二、間瀬惇平：山留工事の設計施工 1996. 7 初版P4～P7 P34～P36 井上書院
- 2) 山留設計施工指針：1988. 1 第2版 P23～P27 日本建築学会
- 3) 嘉納成男、間瀬惇平、金沢英紀、信田直裕、安富彩子：山留壁の工法推定モデルとその推定精度の比較(論文)
- 4) 安富彩子、嘉納成男、金沢英紀、信田直裕、間瀬惇平：地下工事における実績資料の統計的分析(その3) 判別分析による山留支保工の推定、1996年
- 日本建築学会関東支部研究報告集、P345～P348
- 5) 間瀬惇平：建築工事における大規模・大深度掘削の設計と施工 1990. 7「基礎工」P86～P89
- 6) 建築技術 1995年3月号
- 7) 建築技術 1996年4月号
- 8) 建築技術 1997年6月号
- 9) 根切山留の設計施工シンポジウム論文集 1998年2月 地盤工学会
- 10) 小林利昭、工藤信芳、小野寺常昭：バルクアベニュー川徳新築工事における山留め工事、基礎工、1982年4月 P84～P94
- 11) 向山弘美、北村孝海：水沢市庁舎新築工事における根切りと地下水対策、基礎工、1982年4月、P75～P83
- 12) 綿野善唯、片桐央雄、梶波信一：金沢市香林坊ATRIOの基礎・山留め工事、基礎工、1988年3月、P108～P111
- 13) 黒田満男、是石逸二、水野憲雄、宮沢徹、間瀬惇平：大崎駅前再開発における事例、基礎工、1985年7月、P104～P113
- 14) 三町直志、大野宏行、居谷善司：竹芝ふ頭再開発第3期工事における逆打ち工法、基礎工、1993年9月、P37～P41
- 15) 小林英雄、山田哲夫、森勉、広田哲夫：工業化逆打ち工法—常和新横浜ビルにおけるリバース積層工法の施工、基礎工、1993年9月、P48～P55
- 16) 川崎孝人、幾田愁康、丸岡正夫、三苫孝文、松井攻、矢作孝雄：高い被圧地下水を有した軟弱地盤における工事例(大阪駅前市街地改造事業第3棟工事)、土質工学ケースヒストリー集(第1集)、1983年、P216～223
- 17) 山本知由、小西昭臣：聖路加国際病院第三街区建設工事における逆打ち工法、基礎工、1993年9月、P31～P36
- 18) 福留史郎、中島康次郎、石井貞美、松島潤：前面道路に45°の軸線をもつ変形敷地における大規模山留め工事の計画と実施(新日鉱ビル建設工事)、基礎工、1989年2月、P114～P119
- 19) 石塚秀教、角谷生起、樋口清範、尾崎徹也：福岡県国際会館(仮称)新築工事の逆打ち工事、基礎工、1993年9月、P56～P62
- 20) 山崎進、安田邦治、磯貝光章、遠山祐二：住友猿楽町ビルにおける逆打ち工法、基礎工、1993年9月、P98～P105
- 21) 吉成元伸、間瀬惇平、新海淳一、国藤祥光：ソイルセメント山留め壁の設計と施工(東京都第一本庁舎におけるSMW施工例)、基礎工、1988年8月、P66～P67
- 22) 垣田英策、宮田孝志：軟弱地盤における山留め工事の計画による予測管理(北九州第二庁舎)、基礎工、1981年12月、P43～P51
- 23) 白塚芳郎、渡辺一茂、小林正則、大路英昭：市街地における地下変電所の逆打ち工法、基礎工、1993年9月、P78～P84
- 24) 橋本武、古郷暁、宮内崇志：市街地における地中連続壁山留めによる逆打工法(赤坂電話局新築工事)、基礎工、1981年6月、P50～P57
- 25) 菊地祐悦、菊地秀行：青山地区の大規模地下工事(新青山ビル)基礎工、1981年6月、P47～P49
- 26) 黒岩恭浩、井村芳郎、細川祐司、丸田洋二：宮崎電報電話局別棟新築工事における杭・山留め工事、基礎工、1981年12月、P102～P115
- 27) 菊地祐悦、菊地秀行：青山地区の大規模地下工事(青山電々)基礎工、1981年6月、P46
- 28) 水野修己、岩堀守恭、岐部哲朗：名古屋市内における大深度地下変電所の施工例、基礎工、1990年1月、P107～P113
- 29) 寺尾嘉夫：新宿野村ビル建設時の大規模掘削の合理的な施工、基礎工、1981年6月、P58～P65
- 30) 菊地祐悦、菊地秀行：青山地区の大規模地下工事(ハザマビル)基礎工、1981年6月、P46
- 31) 野尻明美：仮想支点法により逆解析した逆打事例2題(事例②)建築技術、1995年3月、P117～P119
- 32) 鈴木征志、中山正朗、吉田昌和：三菱銀行本館新築工事(地下工事の計画と実施)基礎工、1981年6月、P105～P115
- 33) 守武亮、磯崎聡：テレコムセンタービル建設工事における逆打工法計画基礎工、1993年9月、P42～P47

(1998年3月30日原稿受理、1998年9月9日採用決定)