

第3章 兵庫県南部地震による各種被害と地形・地質との関連分析

本章では、兵庫県南部地震による建物および、土木構造物の被害と地形・地質との関連性について考察する。3.1節では被害の概要として考察に用いる被害データの説明と、震災被害の概要について述べる。3.2節では震災被害と地形・地質との関連分析を行うが、3.2.1項では関連分析に用いる地形・地質データの説明、3.2.2項では建物被害と地形・地質との関連性についての考察、3.2.3項では土木構造物と地形・地質との関連分析を行う。3.3節では液状化と地震被害について述べるが、3.3.1項では各機関の調査をまとめた液状化による噴砂の分布について、3.3.2項では収集したボーリングデータに基づく「神戸 JIBAN-KUN」による液状化判定について、3.3.3項では液状化と地震被害について述べる。

3.1 被害の概要

3.1.1 建物被害

建物被害のデータは、東灘区から垂水区までの市街地を対象に、日本建築学会・日本都市計画学会が震災直後に行った被災度判定結果¹⁾に、建物構造・建築年次の情報と、平成8年1月1日時点の滅失情報を加え、町丁目別に分類したものである。ただし、対象地域は、被災度判定を行った地域(東灘区～垂水区)に限定されるので、神戸市全域や各区全域を網羅するものではない。

データの総数：152,828棟

データの内容：町丁目コード、建物構造、建築年次、被災度、滅失情報

①建物構造の分類

建物の構造分類については被害データのグラフ化、被害分布図作成にあたって以下のようにまとめた。

- ・木造系
- ・RC系
- ・鉄骨系

②被災度の分類

日本建築学会・日本都市計画学会の被災度判定基準¹⁾の被害データは、全壊、半壊、一部損壊、全焼、未調査、無被害、不明の7分類となっているが、ここで検討するデータにおいては建物被害棟数率の母数から、全焼、未調査、不明を除いた。

日本建築学会・日本都市計画学会の被災度判定基準を次ページに示す。

③被災度と滅失情報

地震による建物被害の度合いを示す指標として、上記した日本建築学会・日本都市計画学会の被災度判定による分類は極めて有意義なものである。しかし、この判定はあくまでも外観目視による判定であって個々の建物の内部まで入り込んでいないため、判定と実際の被害の度合いにずれのあることが予想される。そこで、地震から約1年後の建物滅失情報(改築、再建等の理由により建物が存在しなくなったという情報)を付加することにより、このずれを補完することとした。

日本建築学会・日本都市計画学会 阪神震災復興緊急基礎調査 被災度判定基準¹⁾

調査研究会定義：全壊

学会定義：ランクC（再使用不可／住める見込みが非常に少ない）

木造の場合

- ・既に家屋がない（撤去済み）
- ・全面的倒壊（1階が潰れている、屋根が落ちている、傾斜（5度以上）が著しい）
- ・基礎の破断（上部構造と遊離している、ひび割れが著しく上部を支えられない）
- ・柱など破壊（柱が折損している、抜け出している、軸組みが分解している）
- ・外壁の破壊（外壁の構造体が剥離、剥落している）
- ・その他（火災による焼失、隣の建物や電柱の倒れ込みによる破壊など）

鉄骨造の場合

- ・既に家屋がない（撤去済み）
- ・全面的倒壊（ある階が潰れている、屋根が落ちている、傾斜（5度以上）が著しい）
- ・柱梁の破壊（座屈が著しい、折れ曲がっている、柱脚のアンカーが破断している）
- ・外壁の破壊（外壁の構造体が剥離、剥落している、いまにも落下しそうである）
- ・その他（火災による焼失が著しく再使用不可能）

鉄筋コンクリートの場合

- ・既に家屋がない（撤去済み）
- ・全面的倒壊（ある階が潰れている、屋根が落ちている、傾斜（5度以上）が著しい、転倒の危険がある）
- ・沈下（1M以上沈下している）
- ・柱梁の破壊（鉄筋のはらみだし・曲がり・破断が認められる、コンクリートが崩れ落ちている、柱に剪断破壊が認められる）
- ・外壁の破壊（外壁の構造体が剥離、剥落している、いまにも落下しそうである）
- ・その他（火災による焼失が著しく再使用不可）

調査研究会定義：半壊

学会定義：ランクB（大幅な修理で再使用可能／大幅な修理で住める可能性あり）

木造の場合

- ・部分的破壊（傾きが認められる（5度以下））
- ・基礎の破断（基礎のモルタルが剥離している、基礎にひび割れが認められる）
- ・外壁の破壊（大きな亀裂が認められる、目地が著しくずれている、ガラス窓が破れて落ちている）
- *壁のモルタルが剥離しているだけのものはこのランクに含めない
- ・屋根の破損（屋根瓦のずれが著しい（大半が落ちているなど））
- ・その他（被害が顕著でランクCにはいたらない）

鉄骨造の場合

- ・部分的破壊（傾きが認められる（5度以下））
- ・基礎の破断（基礎のコンクリートが部分的に破壊）
- ・柱梁の破壊（柱や梁がわずかに変形している）
- ・外壁の破壊（壁の一部が落ちている、目地がずれている、隅角部に亀裂がある、隙間がみえる）
- *ガラス窓が破損しているだけのものはこのランクに含めない
- ・その他（被害が顕著でランクCにはいたらない）

鉄筋コンクリート造の場合

- ・部分的破壊（傾きが認められる（5度以下））
- ・沈下（20cm～1mの沈下が認められる）
- ・基礎の破断（基礎のコンクリートが部分的に破壊）
- ・外壁の破壊（壁の一部が落ちている、目地がずれている、隅角部に亀裂がある、隙間がみえる、壁に破損や亀裂が認められる）
- *ガラス窓が破損しているだけのものはこのランクに含めない
- ・その他（被害が顕著でランクCにはいたらない）

調査研究会定義：一部損壊

学会定義：ランクA

木造の場合

- ・外壁の破壊（モルタルが部分的に落ちている、壁に僅かなひび割れがある）
- ・屋根の破損（屋根瓦が部分的に落ちている）
- ・その他（被害が軽微でランクBにはいたらない）

鉄骨造の場合

- ・外壁の破壊（モルタルが部分的に落ちている、壁に僅かなひび割れがある、窓ガラスが一部破損している）
- ・その他（被害が軽微でランクBにはいたらない）

鉄筋コンクリート造の場合

- ・外壁の破壊（目地に亀裂が認められる、壁に僅かなひび割れがある、窓ガラスが一部破損している）
- ・その他（被害が軽微でランクBにはいたらない）

④建物被害データのグラフ化

以上の被害および滅失データをもとに、以下のように分析を行った。

○区別建物被害棟数（図-3.1.1, 図-3.1.2）

- ・長田区、須磨区での全焼家屋の棟数の多さが顕著となっている。
- ・全焼家屋の比率は、東灘区で最も高く、灘区、長田区、須磨区、兵庫区でも高い割合を示している。
- ・全焼と全壊を含めると、東灘区、長田区、須磨区、灘区の順に高い。
- ・半壊まで含めると、須磨区、東灘区、長田区、灘区の順に高い。
- ・いずれの場合も、神戸市市街地の東部（東灘区～灘区）および西部（兵庫区、長田区～須磨区）の被害の大きさがうかがえる。

○建築年次による全壊かつ滅失棟数率の推移（図-3.1.3）

- ・建築年次が新しくなるほど全壊率が下がる傾向が明らかであり、建築年次と地震被害とが密接に関係しているといえる。
- ・昭和38～40年ごろを境に、木造系、鉄骨系の全壊かつ滅失率が急激に下がっていることにより、地震被害は建築後30年以上の建物に対して顕著に表れていることが示されている。
- ・RC系、鉄骨系は、昭和45年以降減少傾向を示し、昭和54年以降はほぼ0に近い値で推移している。
- ・木造系とRC系、鉄骨系を比較すると、全壊かつ滅失棟数率は2～10倍の比率で木造系の方が高くなっている。この差は昭和48年以降の建物について大きくなっている。
- ・主な耐震設計基準の施行は、昭和46年の柱帯筋規定強化、昭和56年の新耐震設計法施行がある。これらの基準の施行と全壊かつ滅失率の推移を見ると、該当する建物がどの基準を適応して建てられたものか明確でないため、明言はできないが、昭和46年前後で、RC系の全壊かつ滅失率が下がっている傾向が認められる。昭和56年前後では、RC系、鉄骨系とも、全壊かつ滅失率がすでにかなり低下しているため、明瞭な傾向は読みとれない。

⑤建物被害の平面分布

図-3.1.4は建物被害のうち、昭和45年以前に建築された木造建物の全壊かつ滅失率の平面分布を各町丁目ごとに色分けして示したものである。図-3.1.1, 図-3.1.2のグラフに示された傾向がこの平面図からも読みとることができる。木造家屋の全壊かつ滅失率の高い地域は東灘区～灘区にかけての神戸市市街地の東部と、兵庫区、長田区～須磨区にかけての神戸市市街地の西部にかけて分布している。以降の建物被害原因分析にはこの平面分布をもとに検討する。その理由としては、図-3.1.3のグラフで明らかのように、昭和45年を境としてそれ以前は年代による被害率に変化があまりないことと、木造家屋については構造が単純であり、地域・地盤によって特別な構造の差があるとは考えられないため、どの地域をとっても、耐震上の差は少なく比較しやすいことが挙げられる。

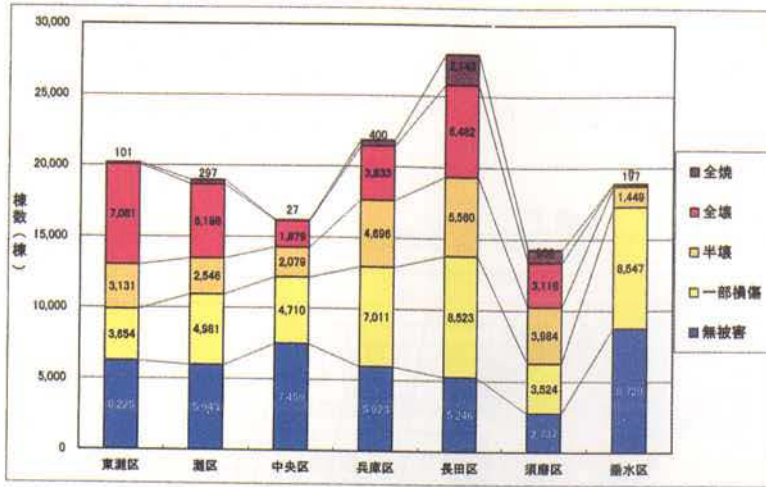


図-3.1.1 区別建物被害棟数（全構造）

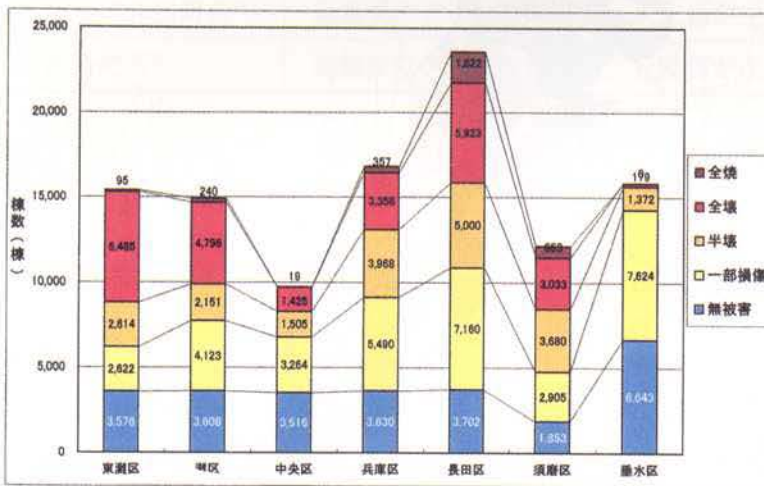


図-3.1.2 区別建物被害棟数（木造系）

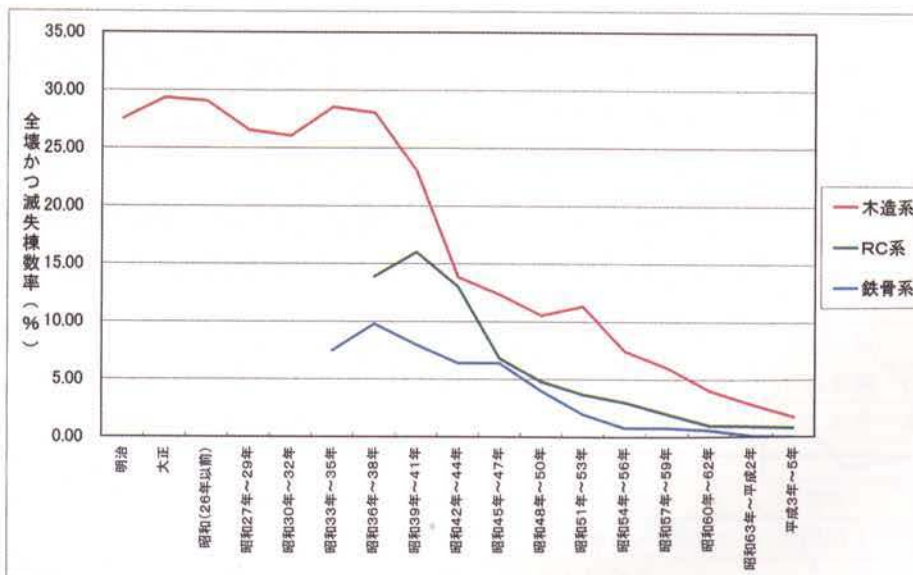


図-3.1.3 建築年次による全壊ならびに滅失棟数率の推移

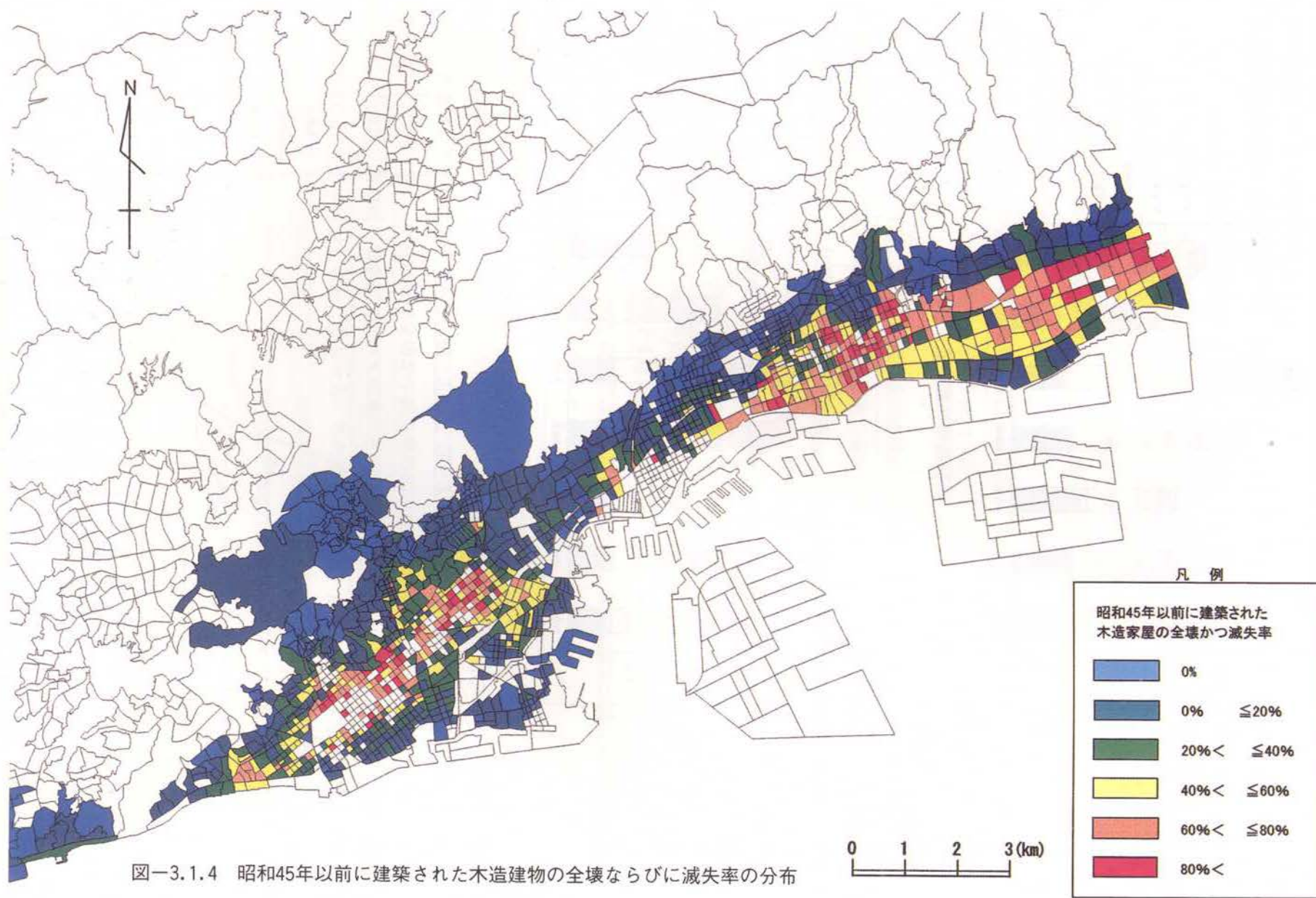


図-3.1.4 昭和45年以前に建築された木造建物の全壊ならびに滅失率の分布

3.1.2 土木構造物被害および地震による地盤変位

(1)概 要

当委員会が入手した土木構造物被害および地盤変位データの一覧を表-3.1.1に示したが、このデータは「神戸 JIBANKUN」上でプロットが可能である。

表-3.1.1 入手した土木構造物および地盤変位データ一覧

機 関 等	デ ー タ
神戸市建設局	下水道管の被害位置，管の諸元等の詳細データ
神戸市水道局	上水道管の被害位置，管の諸元等の詳細データ
神戸市交通局（地下鉄）	被害ランク区分平面図
神戸市建設局	擁壁被害位置
大阪ガス	被害位置図
(財)地震予知総合研究振興会 ²⁾	地盤変位データ（海岸部，人工島が主体）
防災科学技術研究所 ³⁾	地盤変位データ（市街地，丘陵部が主体）

(2)被害データの内容

①下水道管

下水道管の被害データは、神戸市建設局下水道河川部でまとめられた被害を受けた污水管（枝管）の位置，管種，管径等の基本的性質，被害の種類，程度を示している詳細なデータである（詳細は表-3.1.2に示した被害データコード表参照）。

表-3.1.2(1) 下水道管被害データコード(1) 被害状況の分類

事 項	記号	ラ ン ク		
		A	B	C
本管				
破損	E	原型なし	破損寸前	クラック
クラック（鉛直）	CV	全円周	半円周	半円周以下
クラック（水平）	CH	管1本以上	管1本以内	管半分以下
侵入水	D	噴き出している	流れている	にじんでいる
たるみ	L	管径の1/2以上	管径の1/2以下	管径の1/5未満
蛇行	M	管径の1/2以上	管径の1/2以下	管径の1/5未満
本管継手				
破損	E	認められる場合は印をつける		
鉛直ズレ	G	5 cm以上	1～5 cm	1 cm未満
水平ズレ	B	5 cm以上	2～5 cm	2 cm未満
侵入水	D	噴き出している	流れている	にじんでいる
取り付け管接合部				
破損	E	破断	クラック	異常なし
突出	K	管径の1/10以下	管径の1/20以上	管径の1/20未満
侵入水	D	噴き出している	流れている	にじんでいる

- ・クラックは破損に至らない割れ目で，鉛直方向に近いものと，水平に近いものに分類。
- ・たるみは主に鉛直方向の管の曲がり，蛇行は主に水平方向の管の曲がりを指す。

表-3.1.2(2) 下水道管被害データコード(2) 管種の種類

コード	内 容	備考
0	不明	
1	ヒューム管, HP 管	HP
2	塩ビ管, VP 管	VP
3	塩ビ管, VU 管	K1
4	塩化プラスチック	K2
5	塩ビ卵型管	K3
6	高剛性塩ビ卵形管	K4
7	高剛性塩ビ管	K5
8	モルタル兼任員ダクタイト管 FC	G1
9	ステンレス管	SU
10	塩ビライニング管	S
11	陶管, TP 管	T
12	鋼管	ST
13	鉄筋コンクリート管	SC
14	無筋コンクリート管, CP 管	C
15	コンクリートブロック	CB
16	煉瓦	BR
17	石積	M
21	ダクタイト鑄鉄管 (D.C.I.P)	
22	ダクタイト鑄鉄管 (内面モルタル)	
23	ダクタイト鑄鉄管 (内面エポキシ)	
24	対衝撃性硬質塩ビ管 (H.I.V.P)	

「神戸 JIBANKUN」では以下に示した項目で検索し、該当するデータ位置を平面図上にプロットできる。

位置, 管別, 管種, 管径, 被害の種類, 被害の方向, 被害の程度

図-3.1.5は, 下水道管(汚水管)の被害位置をプロットしたものである。東灘区~須磨区にかけての市街地全体に分布しているが, 詳細にみると灘区の北部から中央区にかけて被害が少ない地域が見られることや, 長田区北部の丘陵地で被害が見られること, 新しい埋め立て地である六甲アイランドとポートアイランドで比較的被害が少ないことが特徴である。

②上水道管

上水道管の被害データは, 神戸市水道局でまとめられた被害を受けた管の位置, 材質等の基本的性質, 被害状況, 復旧日を示している詳細データである(詳細は表-3.1.3に示した被害データコード表参照)。

「神戸 JIBANKUN」では以下に示した項目で検索し、該当するデータ位置を平面図上にプロットできる。

位置, 材質, 管径, 継手形式, 被害状況, 復旧日

表-3.1.3 上水道管被害データコード表

番号	名 前	型	幅	内 容
11	口 径	数 値	4	呼び径
13	材 質	文 字	1	1:ダクタイト鑄鉄管(FCD), 2:高級鑄鉄管(FC), 3:硬質塩ビ管(HIVP), 4:ビニール管, 5:鋼管(SP), 6:石綿管(AP), 8:その他, 9:不明
19	復 旧 日	日付け	8	応急修理日・月/日/年
21	被災状況1	文 字	1	1:管体の縦割れ, 2:管体の折れ, 3:継手の抜けだし, 4:腐食, 5:その他
22	被災状況2	文 字	1	被災状況1が5の場合, 6:仕切弁, 7:空気弁, 8:消火栓, 9:その他
25	継手形式	文 字	1	1:メカニカル, 2:ソケット, 3:フランジ, 4:タイトン, 5:溶接, 6:その他

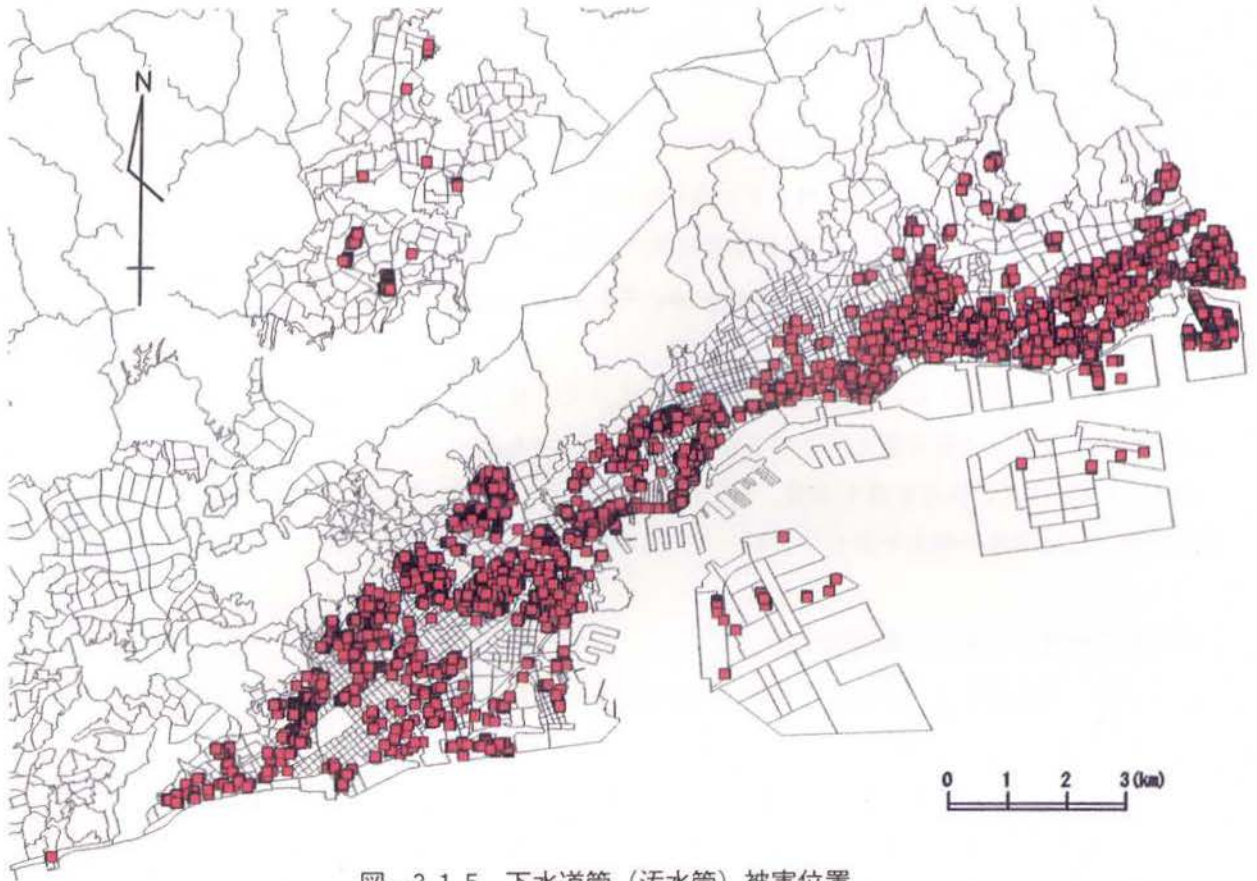


図-3.1.5 下水道管（汚水管）被害位置

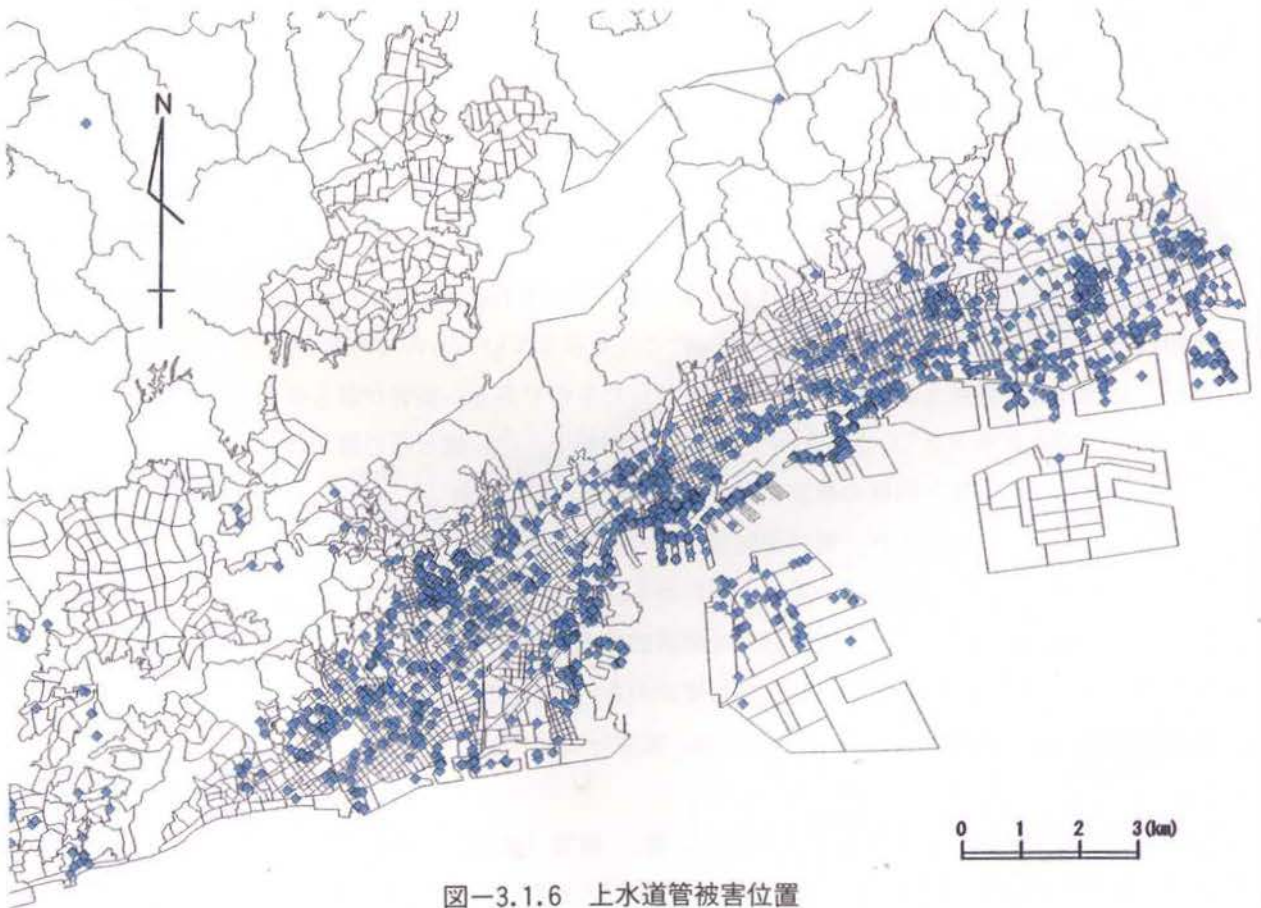


図-3.1.6 上水道管被害位置

図-3.1.6は、上水道管の被害位置をプロットしたものであるが、被害の分布は下水道管とよく似た分布傾向にある。人工島では六甲アイランドで被害が少なく、ポートアイランドで比較的多いことが特徴的である。

③擁壁の被害位置

擁壁の被害データは神戸市建設局でまとめられたもので被害位置のみを入力した。データベースとのリンクはできていない。図-3.1.7に擁壁被害位置図を示した。被害位置は平坦地に擁壁が存在しないため、開発の進んだ丘陵地に偏った分布になっている。特に長田区北部の丘陵地に多い。

④ガス管

大阪ガスの被害データは、大阪ガス株式会社によりまとめられたものを提供して頂いたものである。内容は被害のあったガス管位置と、その本管と支管の区分である。

図-3.1.8にガス管被害位置を本管、支管に分けて出力したものである。被害の分布傾向は下水道管、上水道管とほぼ同様の傾向を示している。人工島で被害がほとんどなかったことが特徴的である。

(3)被害の内容から見た位置図の作成

ここでは、下水道管と上水道管の被害の内容と地形・地質との関連分析に用いる被害位置図の作成について述べる。

①下水道管

図-3.1.9は下水道管本管について、被害項目別に件数を集計したものである。下水道管の被害は、“鉛直クラック”、“たるみ”、“破損”が卓越したことがわかる。被害の方向性をみると、下水道管は2m毎に鉛直方向の継手構造を有しているために、水平方向の変状(水平クラック)よりも鉛直方向の変状(鉛直クラック)が卓越したことがわかる。

図-3.1.10は管の種類と被害件数を集計したものである。被害は“ヒューム管”でもっとも多く発生した。これは元々布設されている管種がヒューム管が多いことを示しているものであり、必ずしも耐震性に劣ることを示しているものではない。また、明らかに耐震性に劣ると考えられる“陶管”も“ヒューム管”に次いで被害が多かった。

図-3.1.11は管の径と被害件数を集計したものである。管径250mmの管で最も被害が多かった。これは元々布設された管の径が250mmのものが多かったことを示しているものである。

図-3.1.12は管の種類と被害項目について集計したものである。被害が最も多かった“ヒューム管”の被害項目は“鉛直クラック”、“たるみ”、“破損”が多かった。塩ビ系の管では“たるみ”が多かった。“陶管”ではヒューム管と同様の被害項目が多かった。

以上で示した被害データより、神戸市街地全域の被害の大小を議論する上では、管種については最も分布が広い“ヒューム管”が適していることがわかる。なお、次に被害の多い“陶管”については、耐震性に劣ることが明らかであり、その敷設分布も局所的であるために、地形・地質との関連分析からは除外することにした。一方、被害項目では被害の程度が大きい“破損”が適し、管径については、敷設されていた管径が250mmの径の管がほとんどであるため、被害分布図作成の際に特に配慮する必要がないことがわかる。

図-3.1.13は、管別(本管)、管種(ヒューム管)、被害(破損)の検索条件(全てandの条件)を与え、その被害位置をプロットしたものである。以降の地形・地質との関連分析にはこの図をもとに行う。

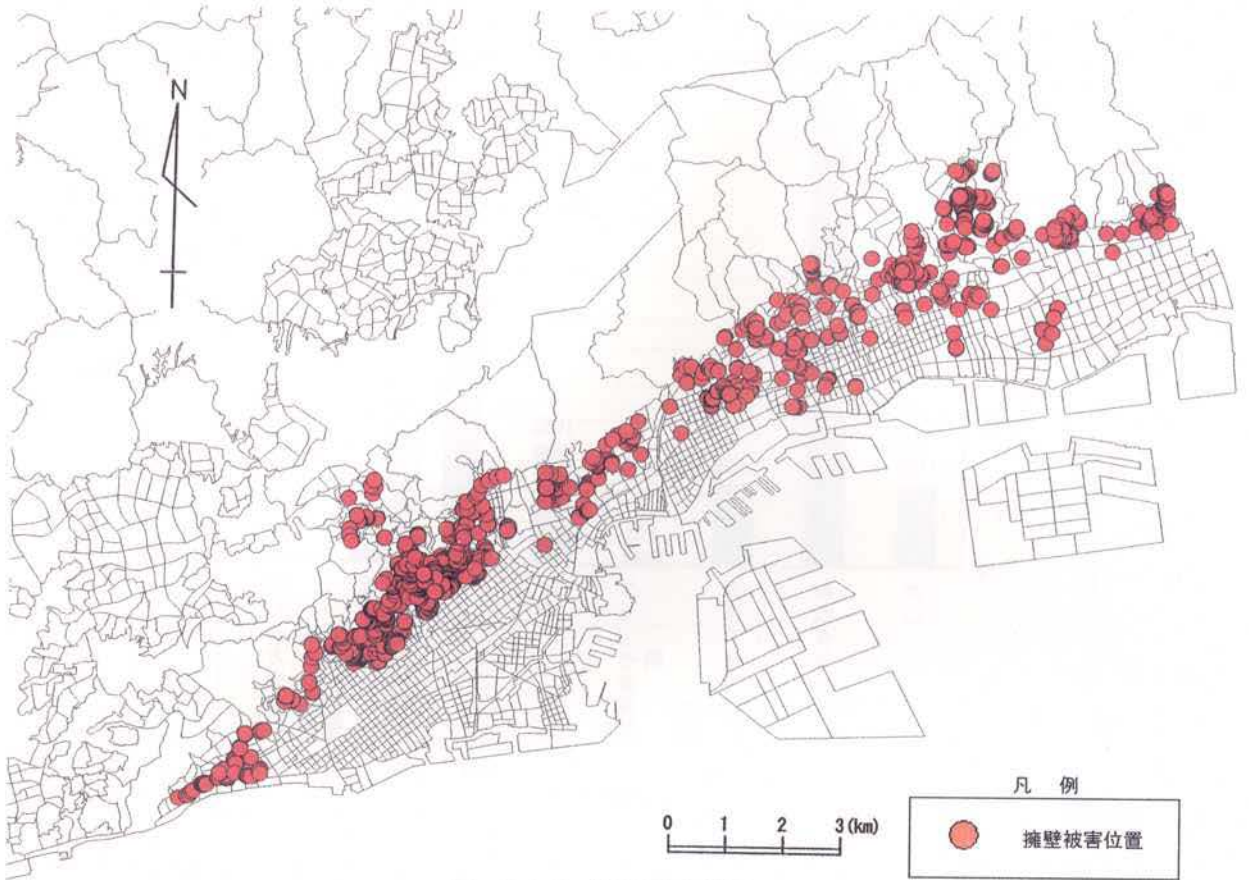


図-3.1.7 擁壁被害位置

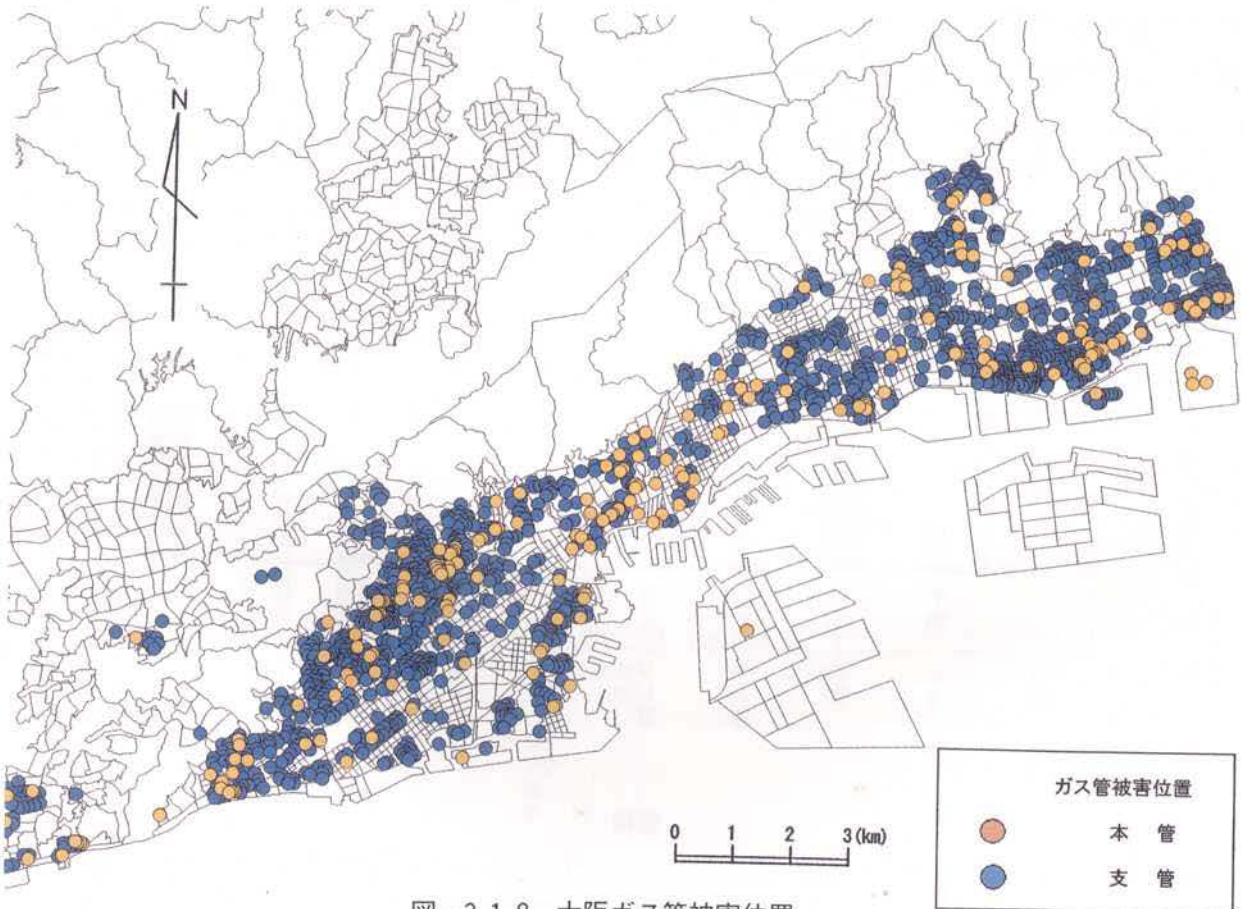
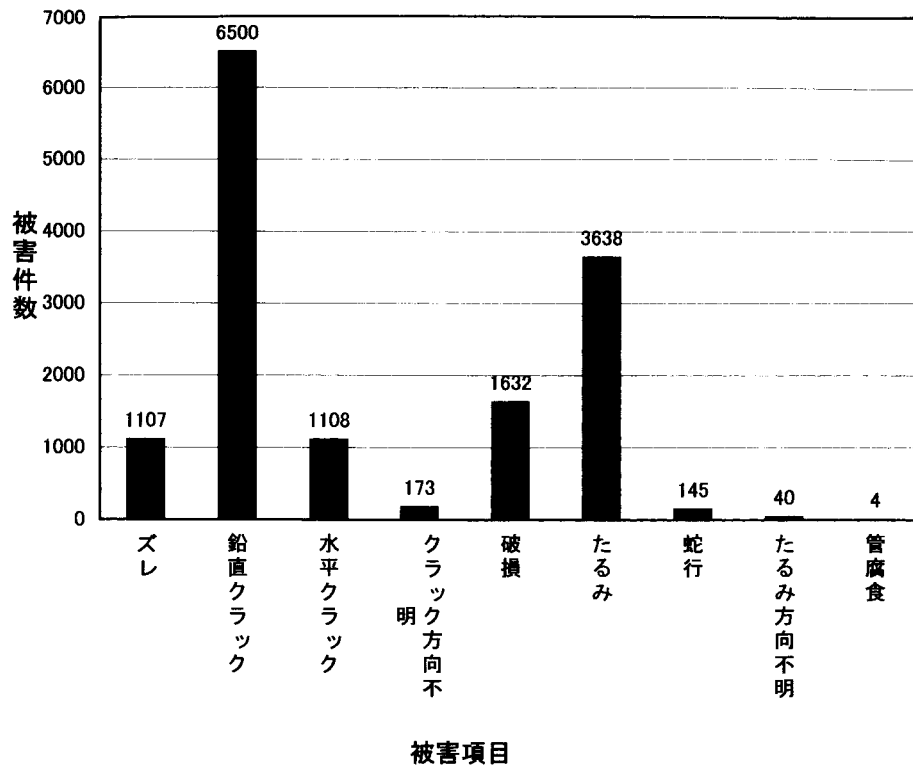
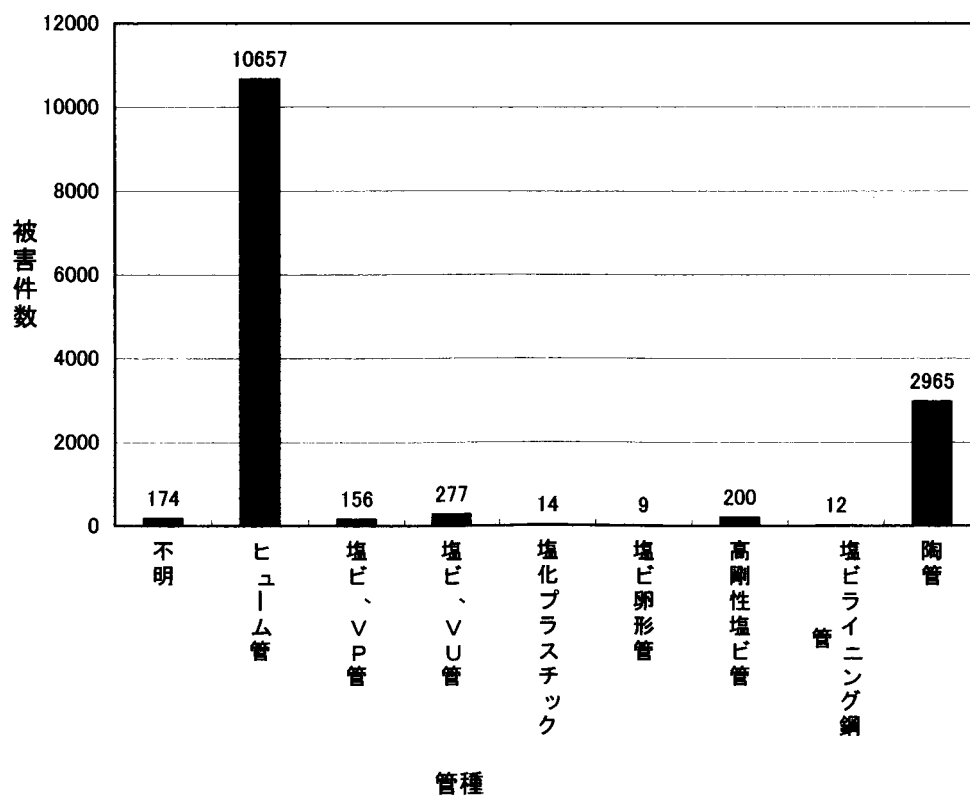


図-3.1.8 大阪ガス管被害位置



図一3.1.9 下水道管本管被害項目別集計



図一3.1.10 下水道管本管被害管種別集計

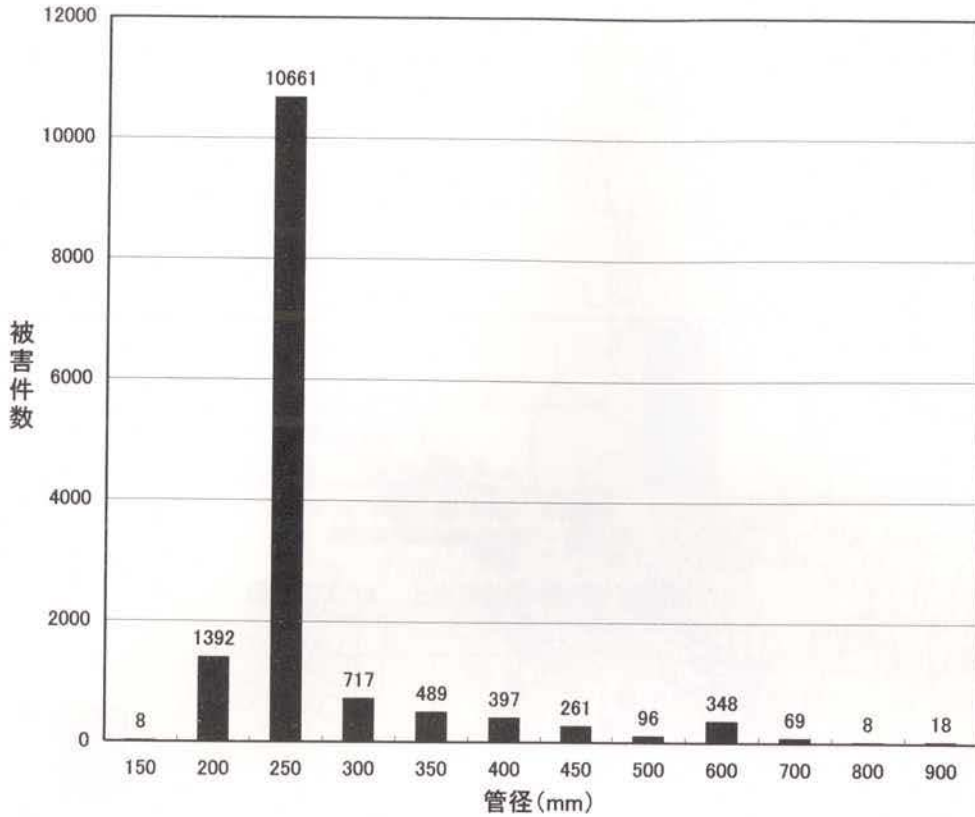


図-3.1.11 下水道管本管被害管径別集計

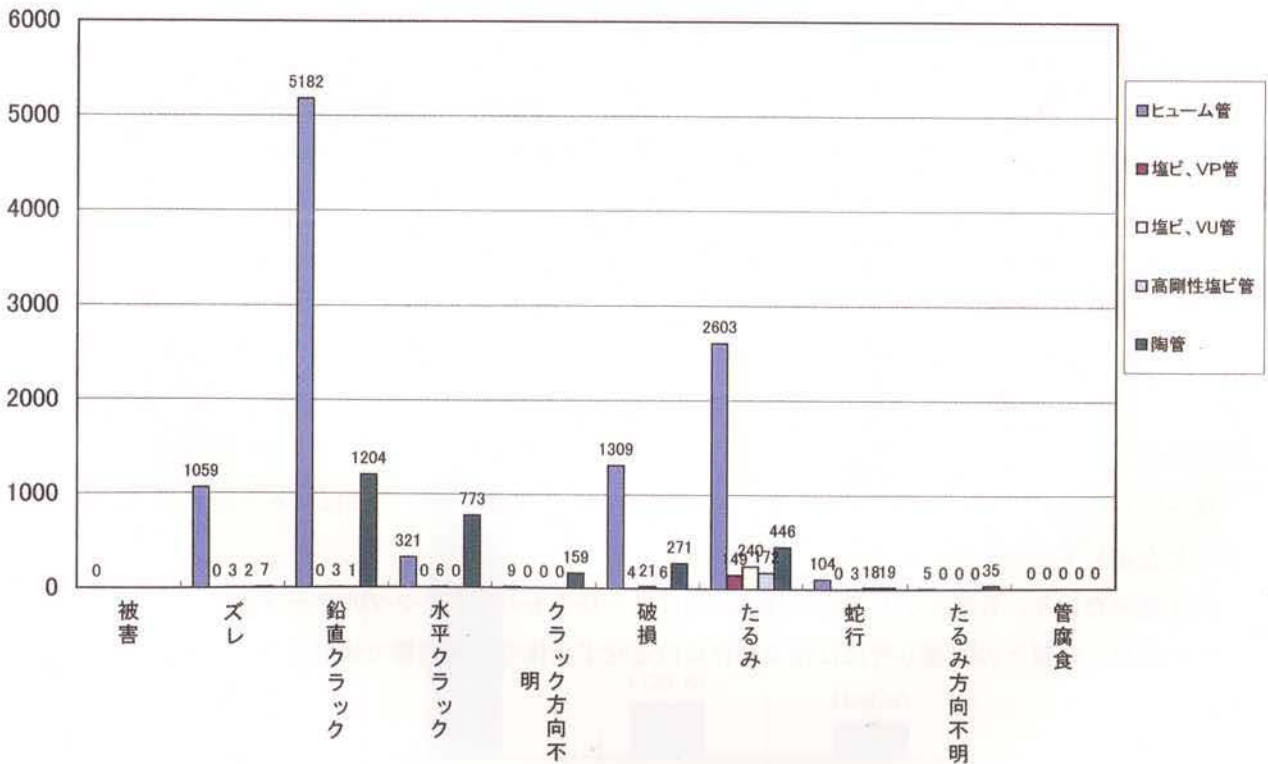


図-3.1.12 下水道管本管被害管種別被害項目

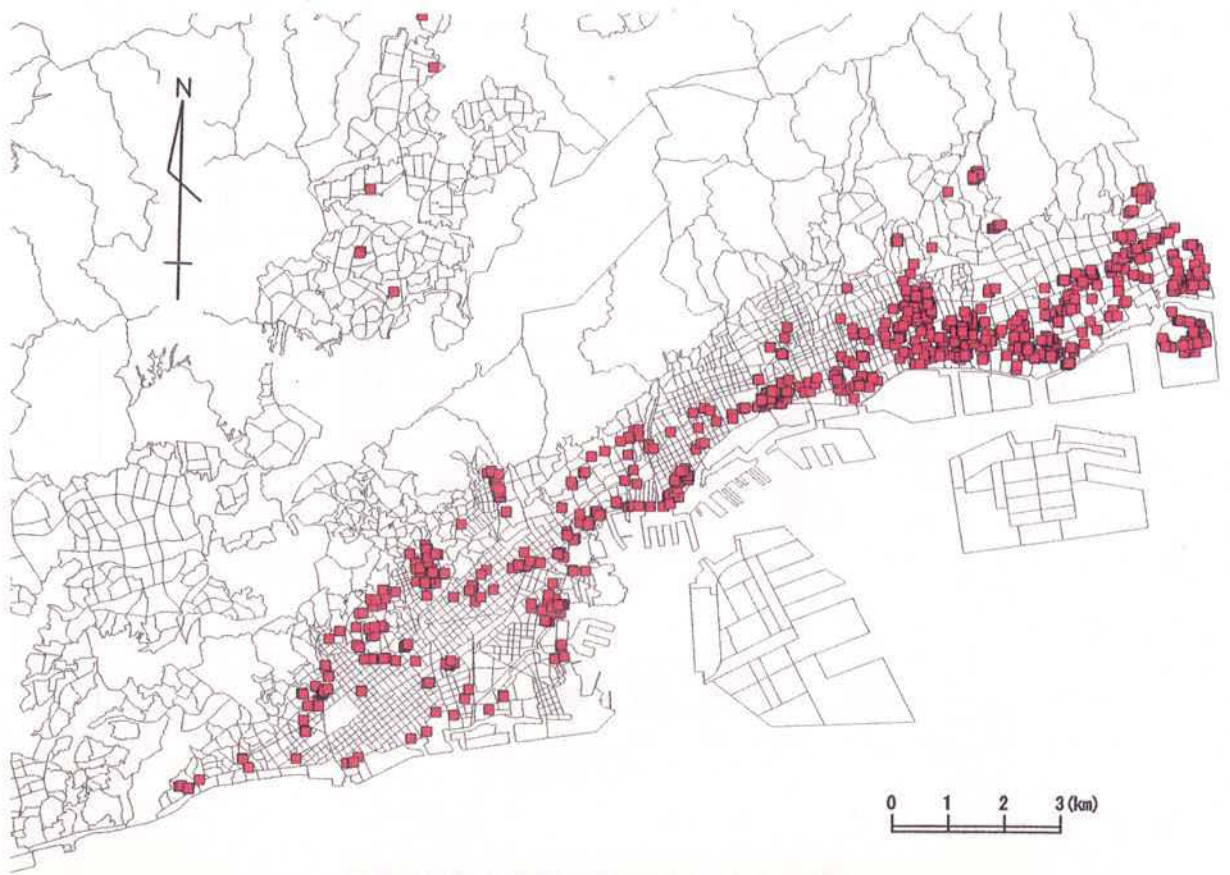


図-3.1.13 下水道管被害位置（本管、ヒューム管、被害破損）

②上水道管

以下に示すデータは(社)日本水道協会による水道管被害の集計⁴⁾を引用したものである。図-3.1.14は全被害件数1,757件の内、被害形態の明らかな1,437件について上水道管被害の形態について集計したものである。同図に示した通り、被害の形態は“継手部抜け”が最も多く、半数以上を占めている。

図-3.1.15は管種、属具の被害件数を示したが、“DIP（ダクタイル管）”、“CIP（鋳鉄管）”、“属具”が多い。図-3.1.16は被害件数を敷設延長で割り、被害率として示したものであるが、DIP（ダクタイル管）は、耐震性に劣るのではなく、敷設の延長が長いいため被害件数が多くなっていることがわかる。図-3.1.17は管種別の被害形態を集計したものである。“DIP（ダクタイル管）”の“継ぎ手抜け”が卓越していることがわかる。次いで、“CIP（鋳鉄管）”の“管体破損”が多いものの、管種によって被害の形態に特徴があることを示している。

図-3.1.18は管径別の被害件数であり、“φ100~150”が最も多い。これは元々布設されている管が多いことを示しているものである。

以上述べた通り、管種により被害の種類に差は見られるものの、サンプルデータを大きくとる意味から、後述の地形・地質との関連分析には検索条件は設定せず全体の被害位置で検討する（前掲図-3.1.6）。

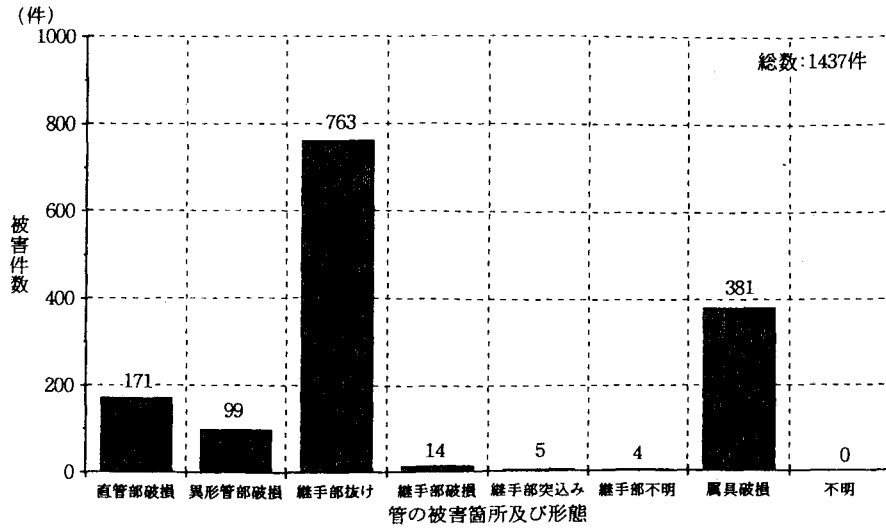


図-3.1.14 上水道管の被害形態の集計⁴⁾

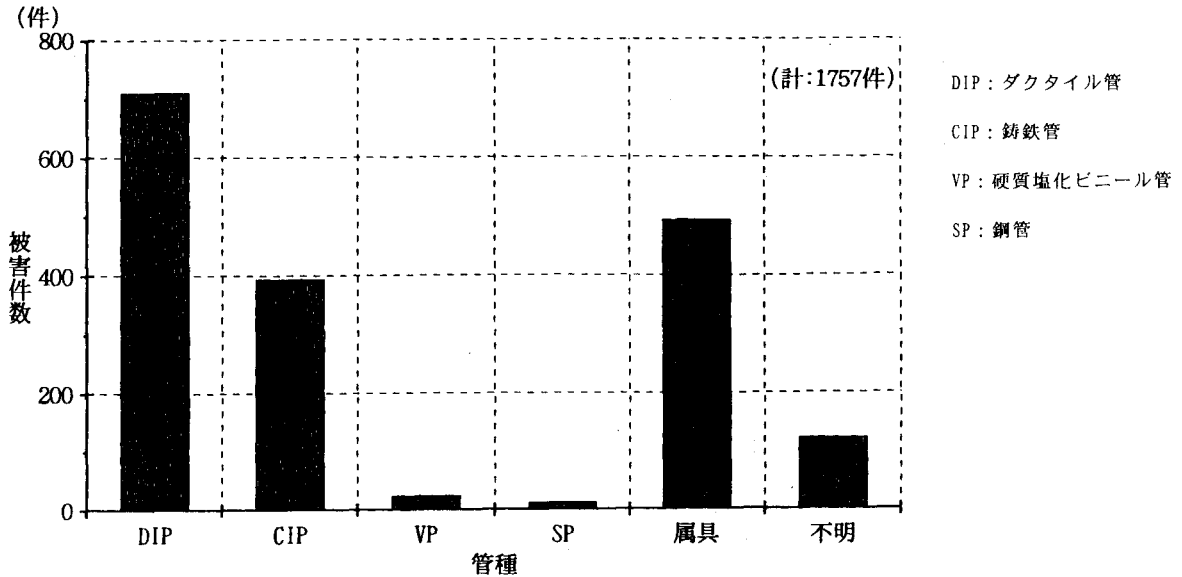


図-3.1.15 上水道管の管種別被害件数⁴⁾

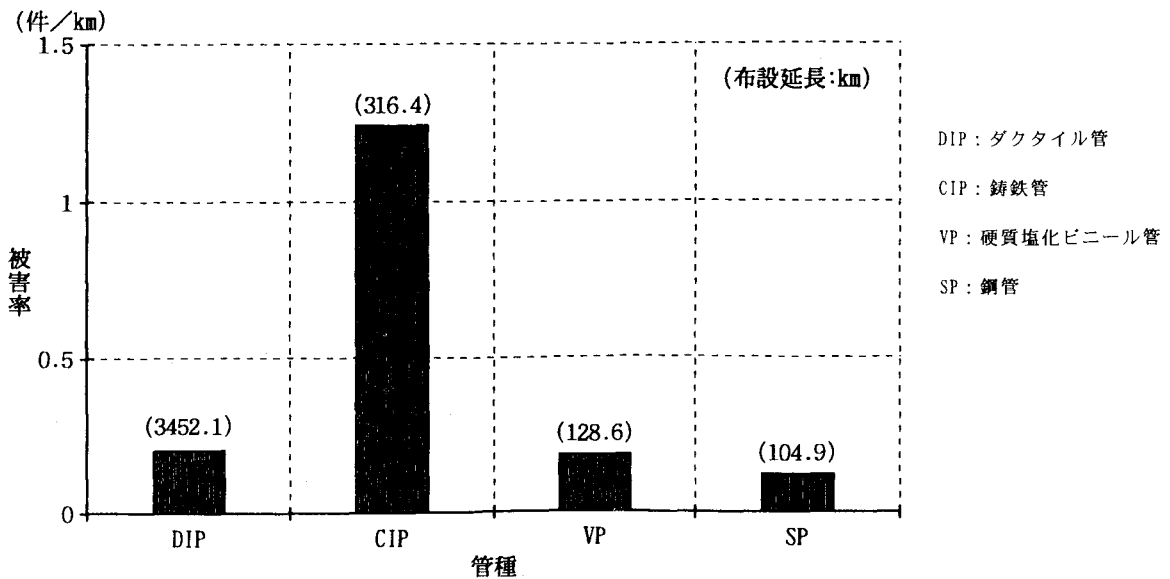


図-3.1.16 上水道管の管種別被害率⁴⁾

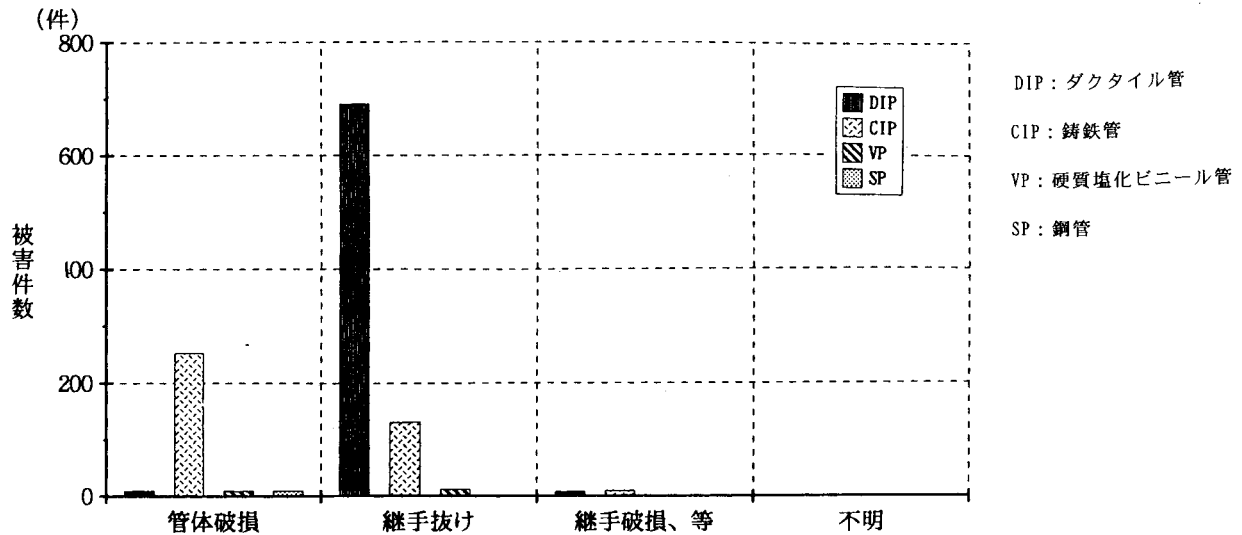


図-3.1.17 上水道管の管種別の被害形態⁴⁾

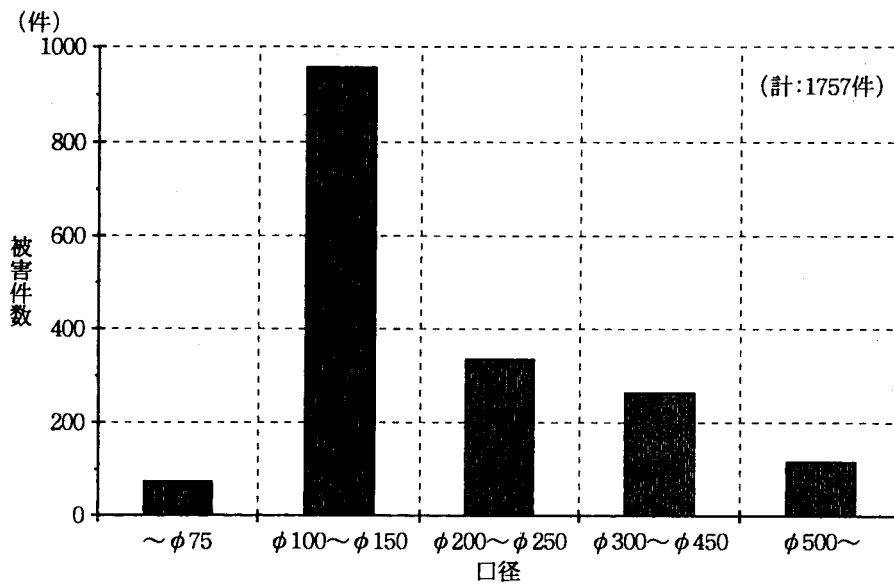


図-3.1.18 上水道管の口径別被害件数⁴⁾

(4)地盤変位データ

地盤変位データは(財)地震予知総合研究振興会²⁾と、防災科学技術研究所³⁾より提供されたものである。いずれも、地震前と地震後の航空写真を用い、目標点の移動状況を数値化したものである。(財)地震予知総合研究振興会のデータについては、地震前の航空写真撮影時期が1990年5月、1993年5月、1994年5月で、地震後の航空写真撮影時期は1995年1月である。データは人工島、海岸部の埋め立て地が主であり、図面からデジタイザーにより数値化した。防災科学技術研究所のデータについては、地震前の航空写真撮影時期が1994年12月、1991年4月で、地震後は1995年1月の航空写真が使用されている。データは市街地、丘陵部が主であり、デジタルデータを提供して頂いた。

図-3.1.19は両機関による地盤変位データを平面図にプロットしたものである。図中で鉛直変位は色分けで示し、水平変位ベクトルは分かりやすくするために平面図スケールの100倍に拡大している。鉛直変位については、人工埋め立て地で沈下が卓越していることが目立ち、内陸部の市街地では数10cmの沈下と

数10cmの隆起が卓越しており、鉛直変位はさほど大きくないことが読みとれる。内陸部で特徴的なエリアとして、長田区はやや山よりの平坦地で150cm程度の沈下がみられる。水平変位については、この程度のスケールで見ると、埋め立て地の護岸が外側に変位したことが目立っており、他のエリアでは明瞭な傾向を読みとることはできない。

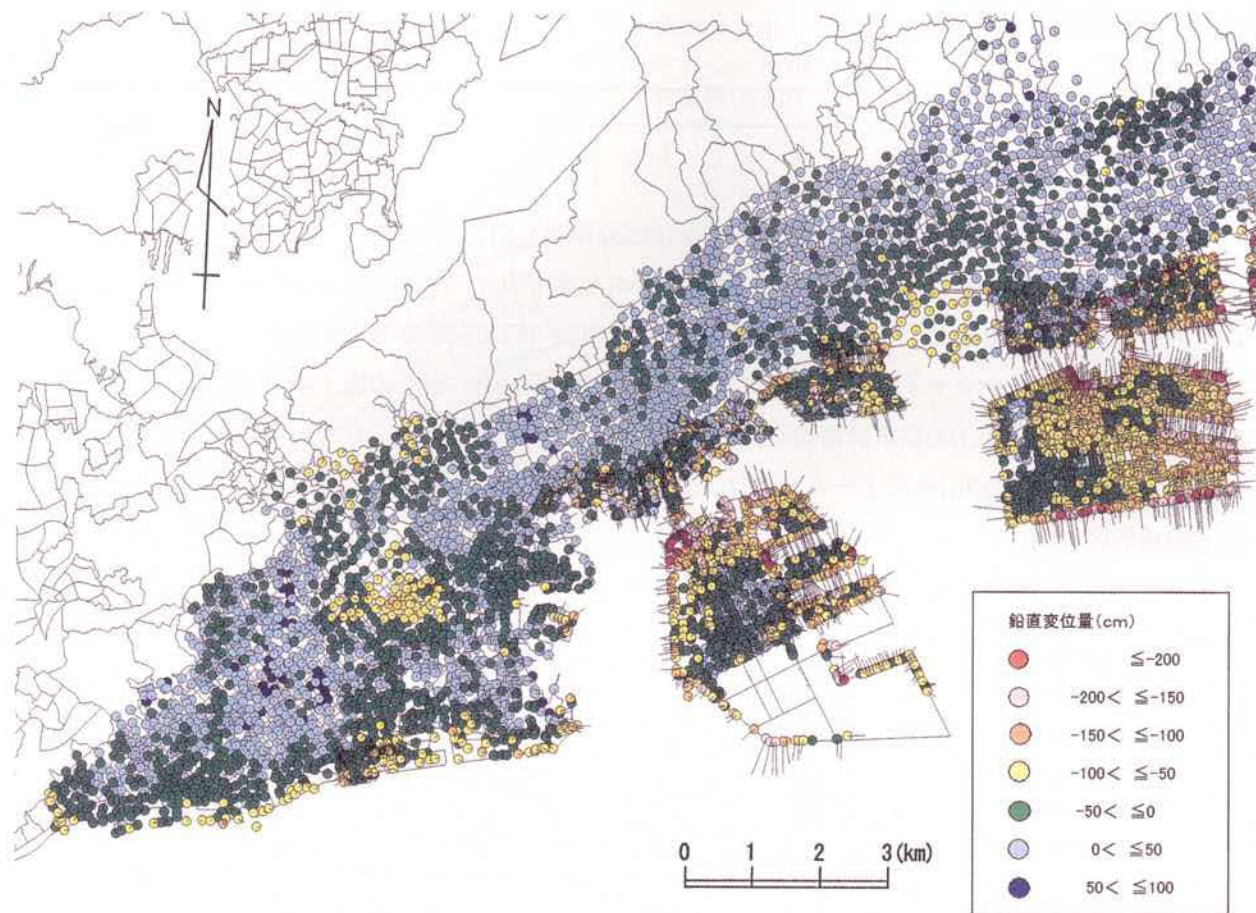


図-3.1.19 地盤変位図^{文献2),3)}を合成 (鉛直変位量および変位ベクトル)
(水平変位は平面図の地図縮尺100倍に拡大)

3.2 被害と地形・地質との関連分析

3.2.1 分析に用いる地形・地質データ

(1) 地形データ

被害データの要因、特にその分布に関する関係を考察するために入手した地形データを表-3.2.1に一覧表として示した。表-3.2.1に示したデータは全て「神戸JIBANKUN」上でプロットできる。

表-3.2.1 分析に用いる地形データ

機 関 等	デ ー タ
明治前期関西地誌図集成 ⁵⁾	旧地形データ (旧海岸線, 旧河道, 旧ため池, 谷埋め盛土域)
国土地理院 ⁶⁾ 田中眞吾	微地形区分図
神戸市建設局下水道河川部 国土地理院 ⁷⁾	マンホールの標高データ (地震前) 50m メッシュの標高データ これらの標高データをもとに, 20m メッシュの標高データを作成

①旧地形データ

「神戸 JIBANKUN」に入力した旧地形データは旧海岸線, 旧河道, 旧ため池, 谷埋め盛土域である。旧海岸線, 旧河道, 旧ため池については, 柏書房から出版された「明治前期関西地誌図集成」⁵⁾から, これらの地形要素を読み取り, 神戸市の1/10,000都市計画図 (昭和54年3月編集作成, 平成8年2月修正) にトレースした後, デジタイザーを用いてポリゴン処理を行った。谷埋め盛土域は「明治前期関西地誌図集成」と神戸市の1/10,000都市計画図を比較し, 明らかに谷が埋め立てられている地域をトレースした。

図-3.2.1はこれらの旧地形データをプロットしたものである。

②微地形区分図

田中眞吾による微地形区分図を「神戸 JIBANKUN」に入力した。微地形区分図のうち, 国土地理院より図化された図 (「芦屋」「六甲アイランド」「三ノ宮」「長田」) については, デジタルデータの提供を受けた⁶⁾。また, 国土地理院の1/10,000地形図の「摩耶山」「湊川」の一部と, 出版された「三宮」の一部については田中眞吾の資料⁸⁾を参考に, デジタイザーを用いてポリゴン処理を行った。

図-3.2.2に微地形区分図を示した。図-3.2.2に示した微地形区分を示すポリゴンは, それぞれ微地形区分という属性を持ったデータベースとなっており, 「神戸 JIBANKUN」上で色調等の表現形式を変更できる。

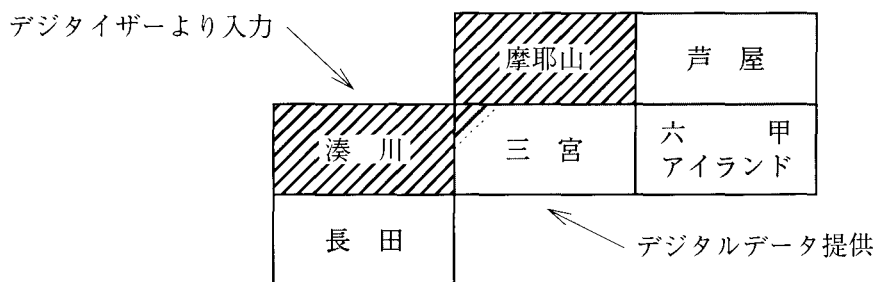


図-3.2.3に各微地形区分の面積比を示した。山地, 丘陵を除いて見ると, 大区分では扇状地 (F) と埋め立て地 (RL) が比率的に高い。次いで, 氾濫平野・海岸低地 (AP CP), 開析谷底・旧河道・河道・谷底平野・相対的低地 (DV) が多い。段丘 (T) に分類されるものは少ない。扇状地では新しい扇状地ほど分布面積が広く, 最も新しい扇状地である F-5 が最も分布面積が広い。

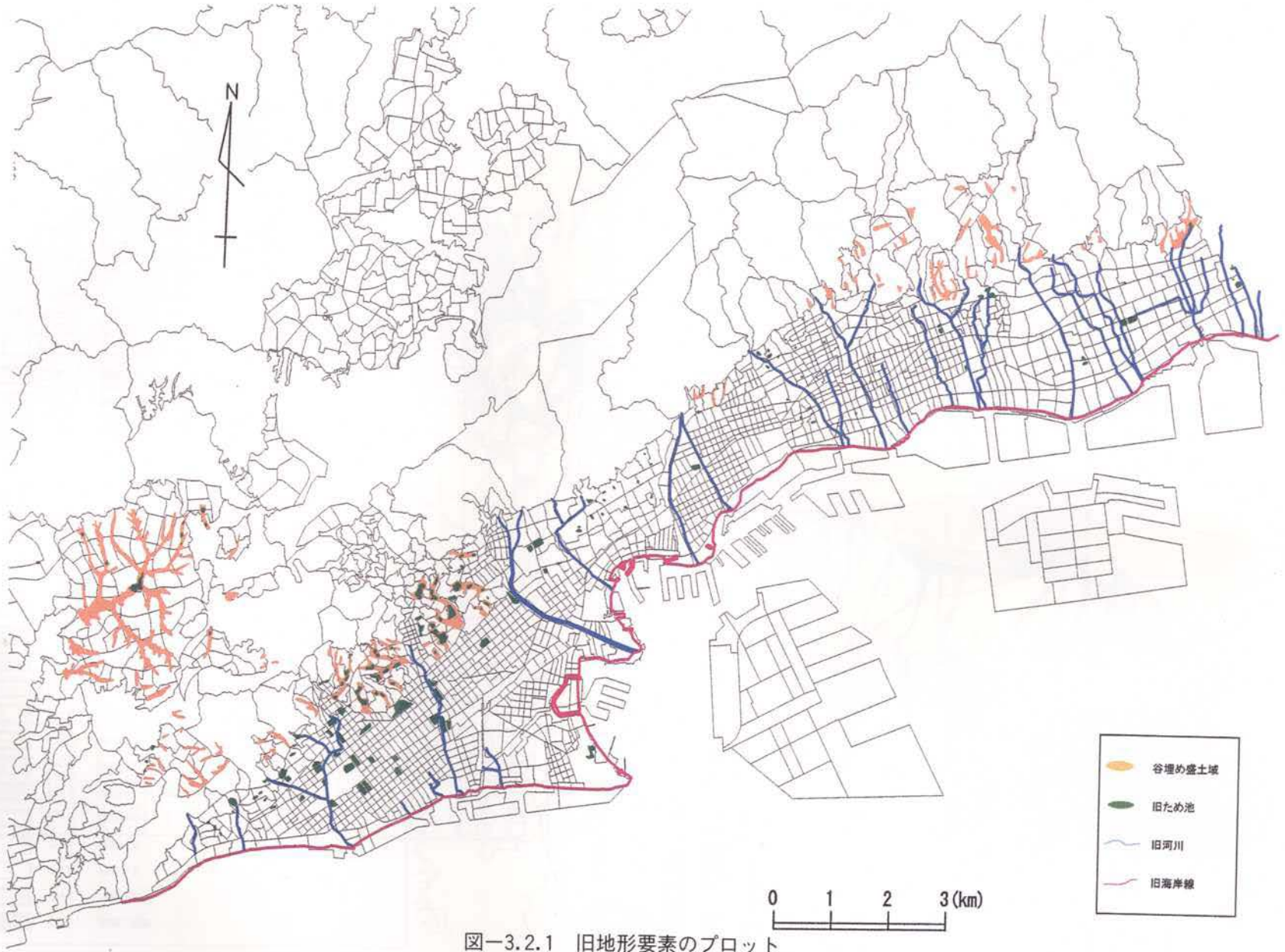


図-3.2.1 旧地形要素のプロット

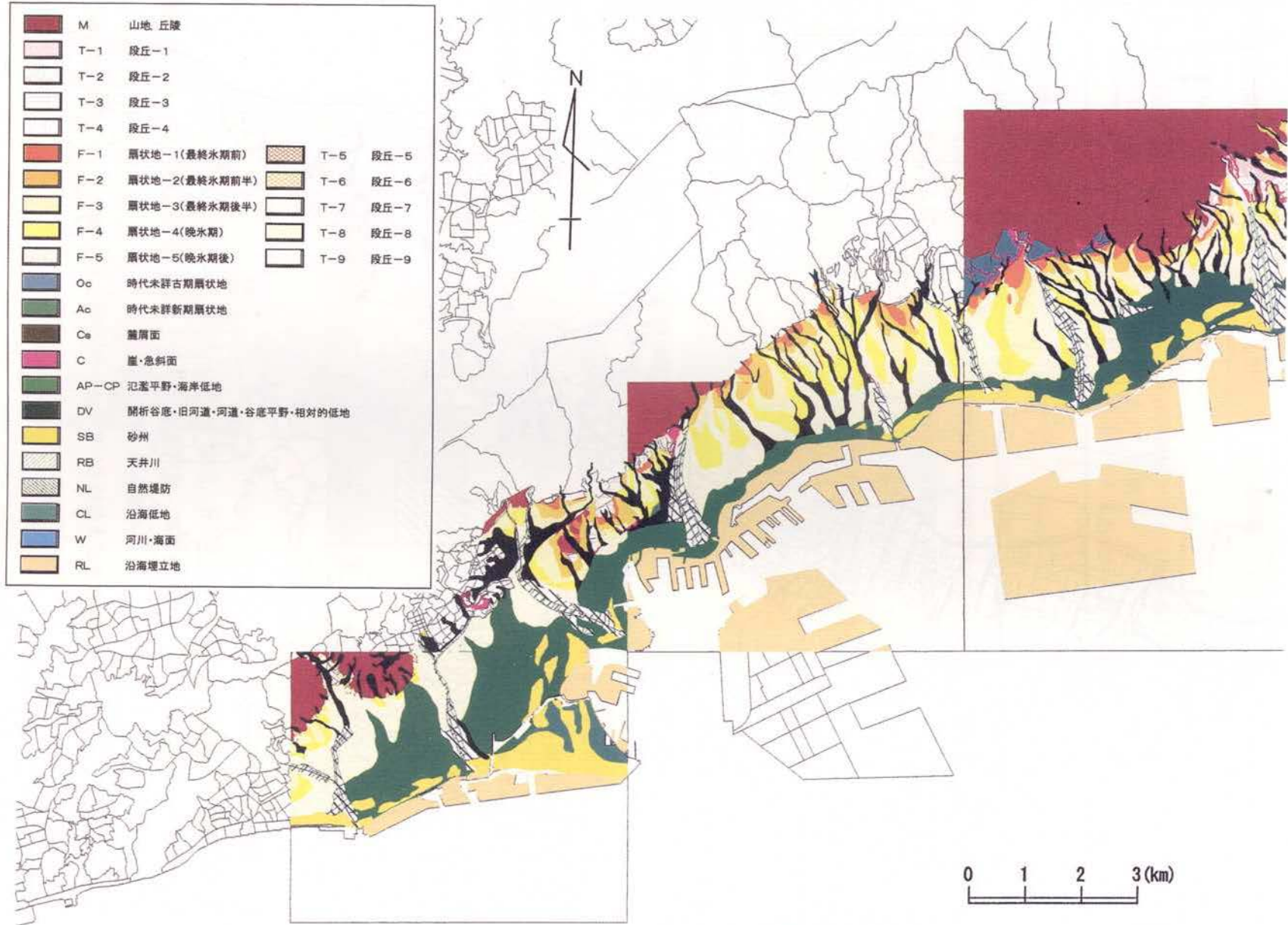


図-3.2.2 微地形区分図

微地形区分の面積比

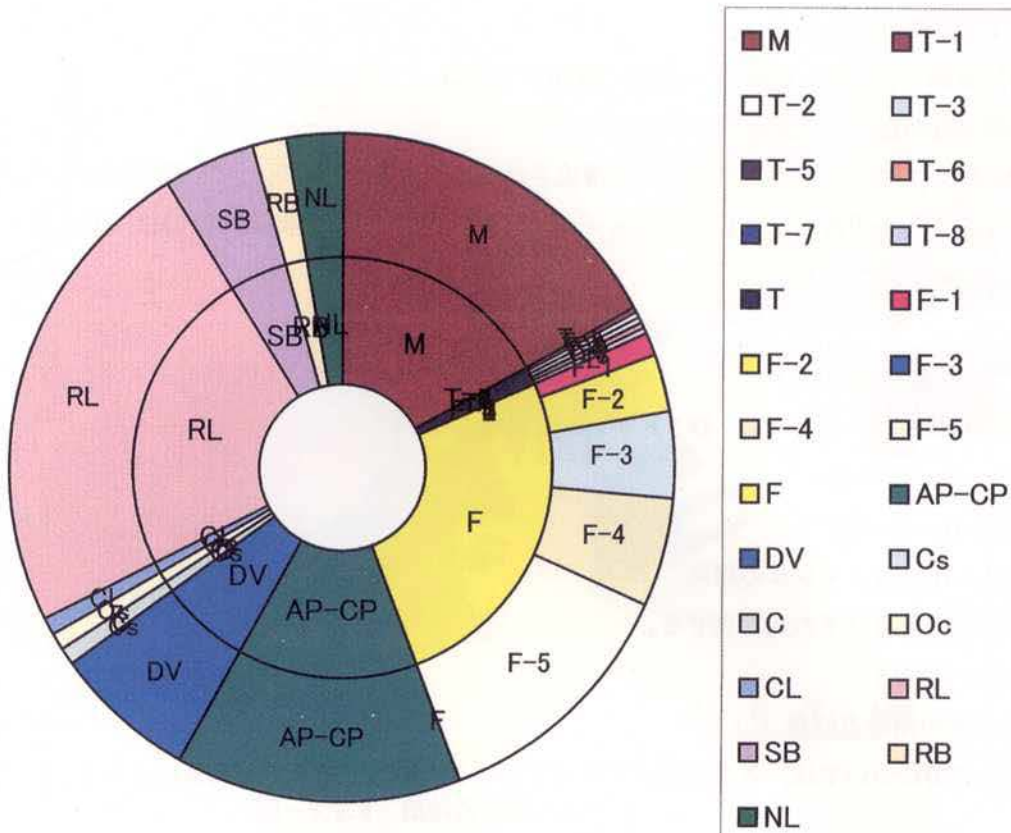


図-3.2.3 微地形区分の面積比

記号	地形	面積 (km ²)	
M	山地・丘陵	13.01	
T-1	段丘-1	0.17	
T-2	段丘-2	0.19	
T-3	段丘-3	0.22	
T-5	段丘-5	0.07	
T-6	段丘-6	0.10	
T-7	段丘-7	0.10	
T-8	段丘-8	0.04	
T	段丘	(合計)	0.88
F-1	扇状地-1 (最終氷期前)	0.93	
F-2	扇状地-2 (最終氷期前半)	2.11	
F-3	扇状地-3 (最終氷期後半)	3.20	
F-4	扇状地-4 (晩氷期)	3.96	
F-5	扇状地-5 (晩氷期後)	9.53	
F	扇状地	(合計)	19.73
AP-CP	氾濫平野・海岸低地	10.60	10.60
DV	開析谷底・旧河道・谷底平野・相対的低地	5.25	5.25
Cs	麓斜面	0.05	0.05
C	崖・急斜面	0.71	0.71
Oc	時代未詳古期扇状地	0.57	0.57
CL	沿海低地	0.62	0.62
RL	沿海埋立地	17.96	17.96
SB	砂州	3.37	3.37
RB	天井川	1.34	1.34
NL	自然堤防	2.16	2.16

③20m メッシュの標高データ

「神戸 JIBANKUN」が任意の断面図を描画するために有している20m メッシュの標高データを用い、以下の“加工図”を作成した。

- ・ 傾斜区分図 20m メッシュ, 100m メッシュ
- ・ 平均標高分布図 20m メッシュ

傾斜区分については、4点の標高データで構成される単位格子を対象として、標高に対して誤差の平方和が最小となるような平面として算出される一次傾向面⁹⁾を用いた。傾向面の傾斜は、基本格子の最大傾斜を表わしている。

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \left[\left(\frac{A}{D} \right)^2 + \left(\frac{B}{D} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$$

ϕ : 傾向面の傾斜 (°) D : メッシュ間隔

$$A = H_1 - H_2 + H_3 - H_4$$

$$B = H_1 + H_2 - H_3 - H_4$$

$H_1 \sim H_4$: 各メッシュの標高

また、傾斜方位角は以下の式で表せる。

$$\theta a = \tan^{-1}(B/A)$$

θa : 斜面の傾斜方位角 (°)

平均標高分布図については、各単位格子を構成する4点の標高データの平均値によって、色調区分で示した。

図-3.2.4に20m メッシュの傾斜区分図を示し、図-3.2.5に100m メッシュの傾斜区分図を示した。また、図-3.2.6には20m メッシュの傾斜区分図の集計を示した。2°以下の平坦地の分布は人工埋立地のほかは、東灘区の東部、兵庫区～長田区にかけて分布しているが、この部分は微地形区分では氾濫平野・海岸低地・砂州に相当する。東灘区の西部～灘区、中央区、兵庫区の山地と海岸線にかけて、さらに須磨区全体は、2°～15°の緩傾斜地が卓越しており、山地に向かい傾斜が大きくなる傾向にある。この部分は微地形区分では扇状地が分布している地域である。傾斜区分図の集計を見ると山地、丘陵地に相当する30°以上の傾斜地を除けば、地表面の傾斜は1°以下の平坦地が最も多くなっており、傾斜が大きくなるにつれてその頻度は小さくなる。

図-3.2.7には20m メッシュの平均標高分布図を示した。上述した氾濫平野・海岸低地・砂州が分布している地域は標高5m以下の低地であり、扇状地が分布している地域は標高5～50mの緩傾斜地である。

図-3.2.8には20m メッシュの平均標高の集計を示した。山地・丘陵地を構成している標高50m以上の部分を除けば、標高5m以下の低地が卓越している。標高5m以上で50m以下の部分では標高が増すほど頻度は低下しているが、低下の割合はそれほど大きくない。これは地表面の傾斜が徐々に山地に向かい大きくなっていることを示しているものである。

図-3.2.9には傾斜方位角の頻度分布を示した。神戸市の市街地は主に南から南南東に傾斜していることを示している。

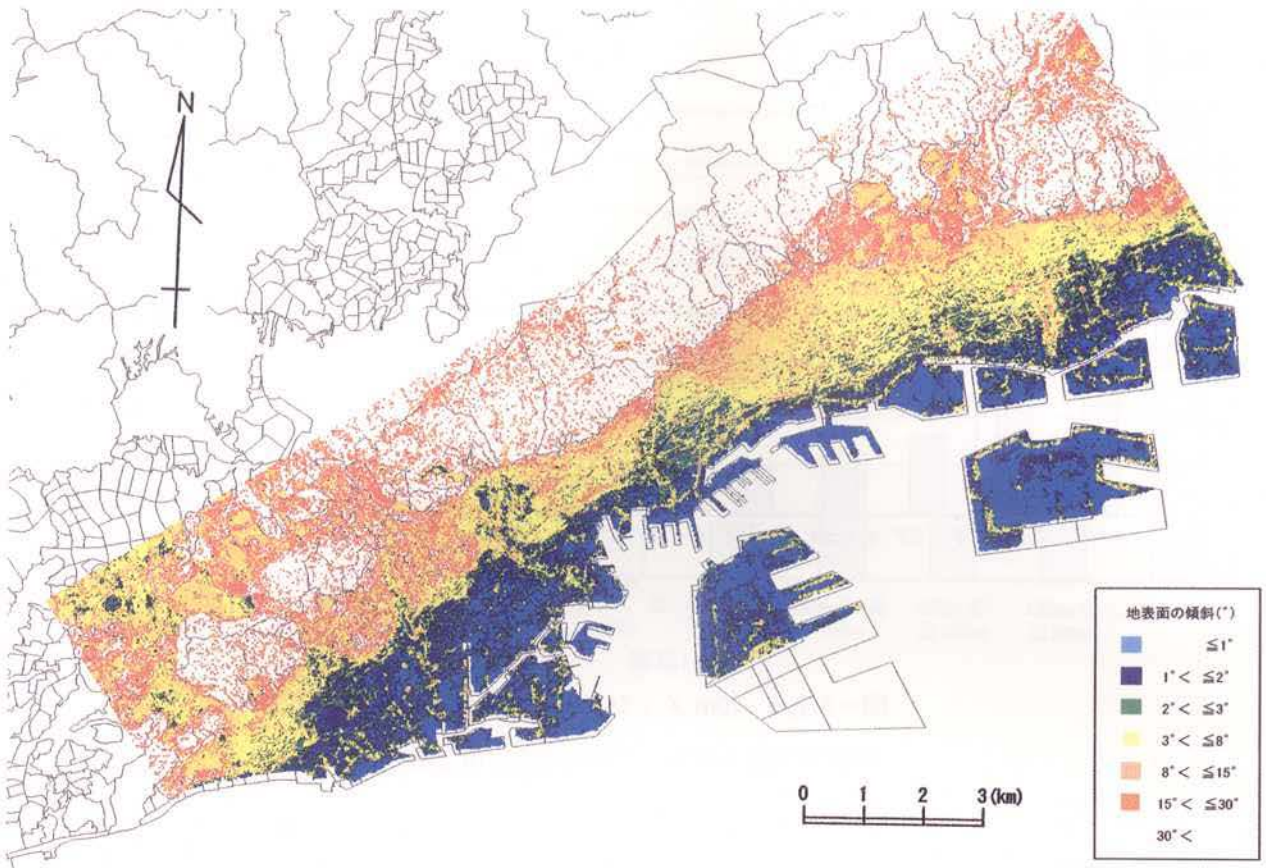


図-3.2.4 傾斜区分図 (20m メッシュ図)

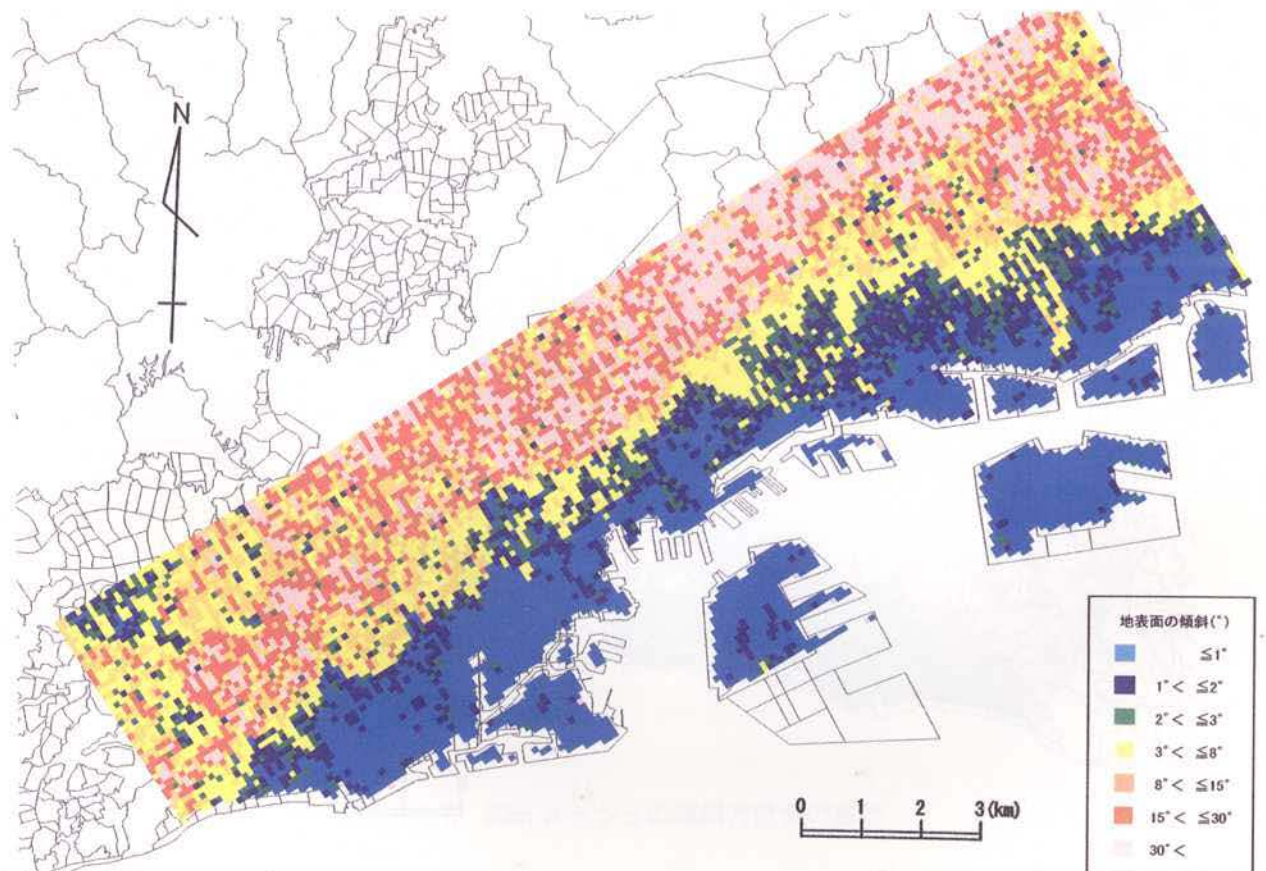


図-3.2.5 傾斜区分図 (100m メッシュ図)

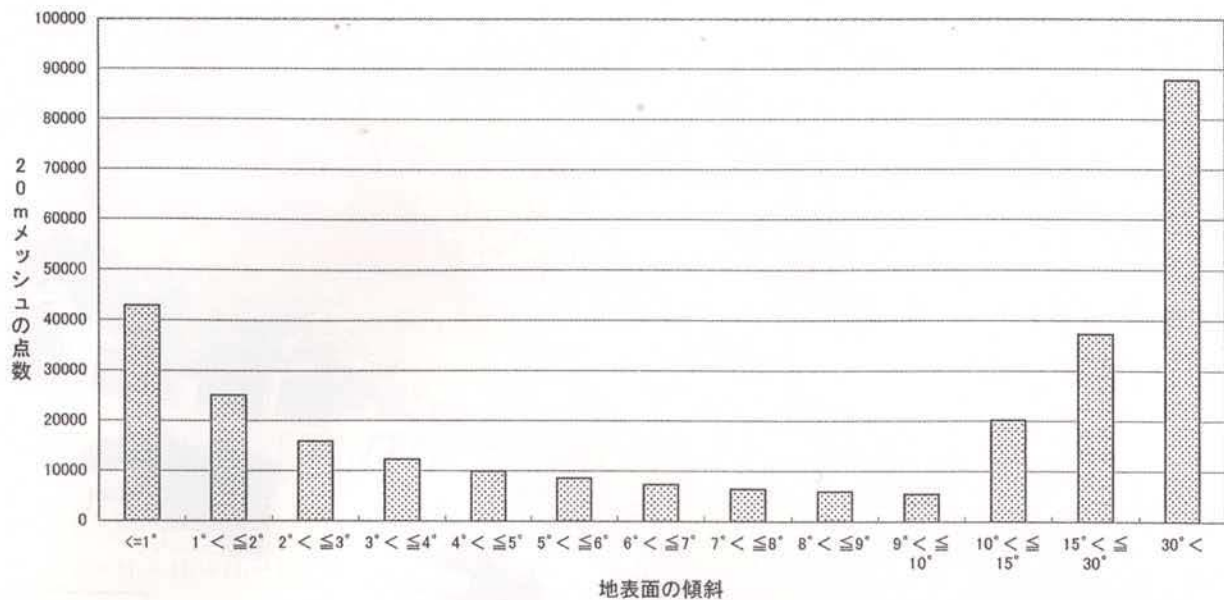


図-3.2.6 20mメッシュの傾斜区分図の集計

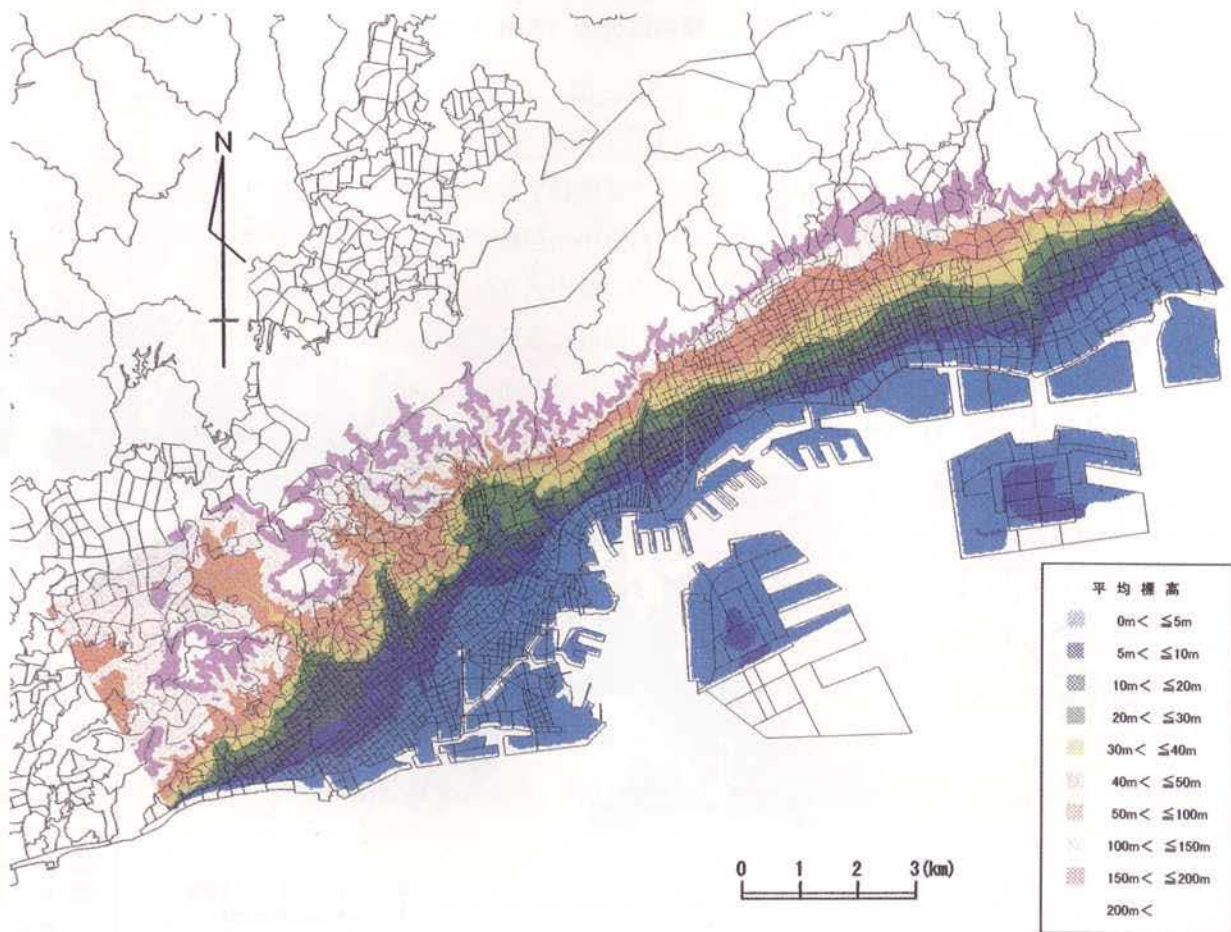


図-3.2.7 平均標高分布図 (20mメッシュ図)

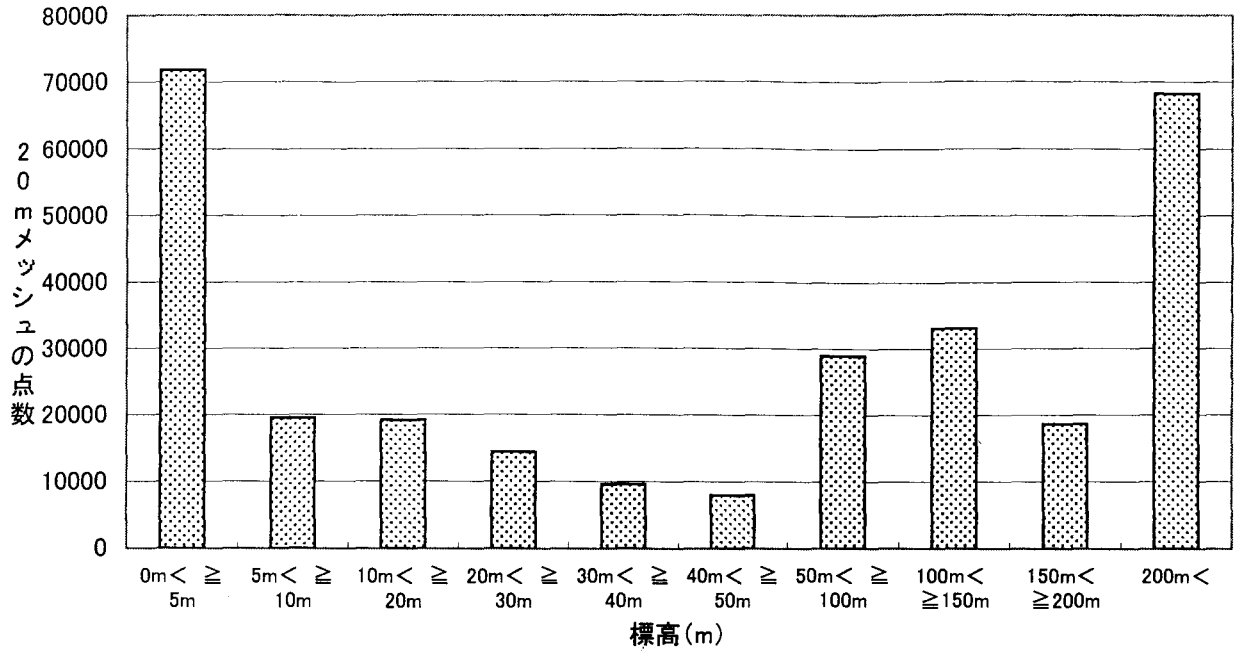


図-3.2.8 20mメッシュの平均標高の集計

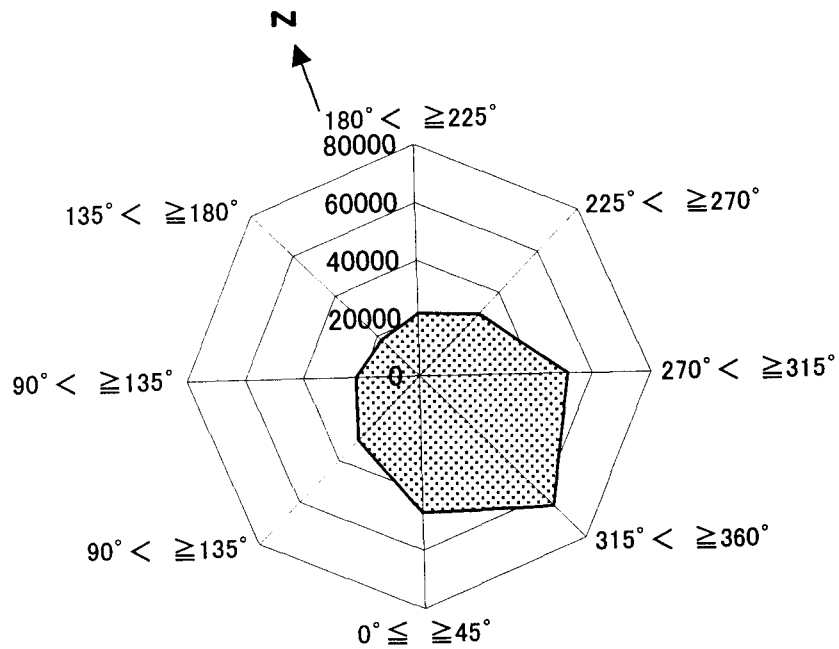


図-3.2.9 20mメッシュの傾斜方位角の集計

(2)地質データ

①地質平面図

図-3.2.10に示した地質平面図は、2章で述べた通り、当委員会が収集した地盤データ、「神戸市地域活断層調査委員会」の調査結果等をもとに総合的に判断して作成したものである。微地形区分図と同様に「神戸 JIBANKUN」上でポリゴンと地質区分を示す属性の形でデータベース化されており、色調等の表現の変更が可能である。また、各種の被害と重ね合わせることで、被害との分析ができる。図-3.2.11は各地質要素の面積比をグラフ化したものである。平野から丘陵地を構成している堆積層では、大阪層群、洪積層、沖積層の順に面積比が高くなっている。沖積層の中では、海浜性砂層の分布域が広がっている。基盤岩の中では花崗岩類の分布が最も広く、次いで神戸層群、丹波層群、有馬層群の順になっている。

②地質断面図

2章で示した地質断面図は、当委員会が収集したボーリングデータをもとに作成したものである。「神戸 JIBANKUN」では直接この地質断面図上に被害位置をプロットすることはできないが、平面位置を断面図に落とす形で被害との関連分析を行う。

③表層 N 値の平面分布

建物の被害との関連分析を行うため、表層地盤の各ボーリング地点毎の N 値の分布図を作成した。図-3.2.12～図-3.2.14に各深度毎の平均 N 値の分布平面図を示した。

これらの図によると、平均 N 値が10回以下の地盤は海岸沿いを除く内陸部では概ね 5m までと見ることができ、10m 以深の地盤ではほとんどが20回以上を示している。

3.2.2 建物被害と地形・地質

前項にまとめた各種の地形・地質データと、地震による建物被害との関係について若干の考察を以下に試みる。建物被害については、昭和45年以前に建築された木造建物の全壊かつ滅失率の分布（前掲図-3.1.4参照）を使用しており、特に40%以上の高率地域についてのみ表示している。これは、ここに示した建物構造が地震時における地盤震動をもっともよく反映していると思われるためである。

(1)地形との関連分析

図-3.2.15は、微地形区分図と地震による建物被害との関係を表示したものである。

この図より明らかなように、地震被害のほとんどは1.5万年以降の扇状地地域（F-4、F-5）と、氾濫平野・海岸低地に集中している。特に、被害は市街地東部では扇状地地域に、市街地西部では扇状地地域と氾濫平野・海岸低地に著しいことが明瞭である。これより地震被害は、新しい地質時代に形成された地形と密接に関係して分布している可能性が高いといえる。

(2)地質との関連分析

図-3.2.16は地質平面図と建物被害データを重ねて出力したものである。

この図より明らかなように、顕著な被害は沖積層の分布域に集中している。市街地東部では、地質区分の内、“沖積層その他”に分類される地域（A1：白色）に集中している。この地域では形成年代の新しい扇状地性の堆積物が卓越している地域である。市街地西部においては、後背湿地性の堆積物が分布している地域（Ba：水色破線）で被害が卓越している。この地域はやや軟弱な粘性土層が分布している地域である。同じ沖積層の分布地域であっても市街地中央部では被害は軽微である。

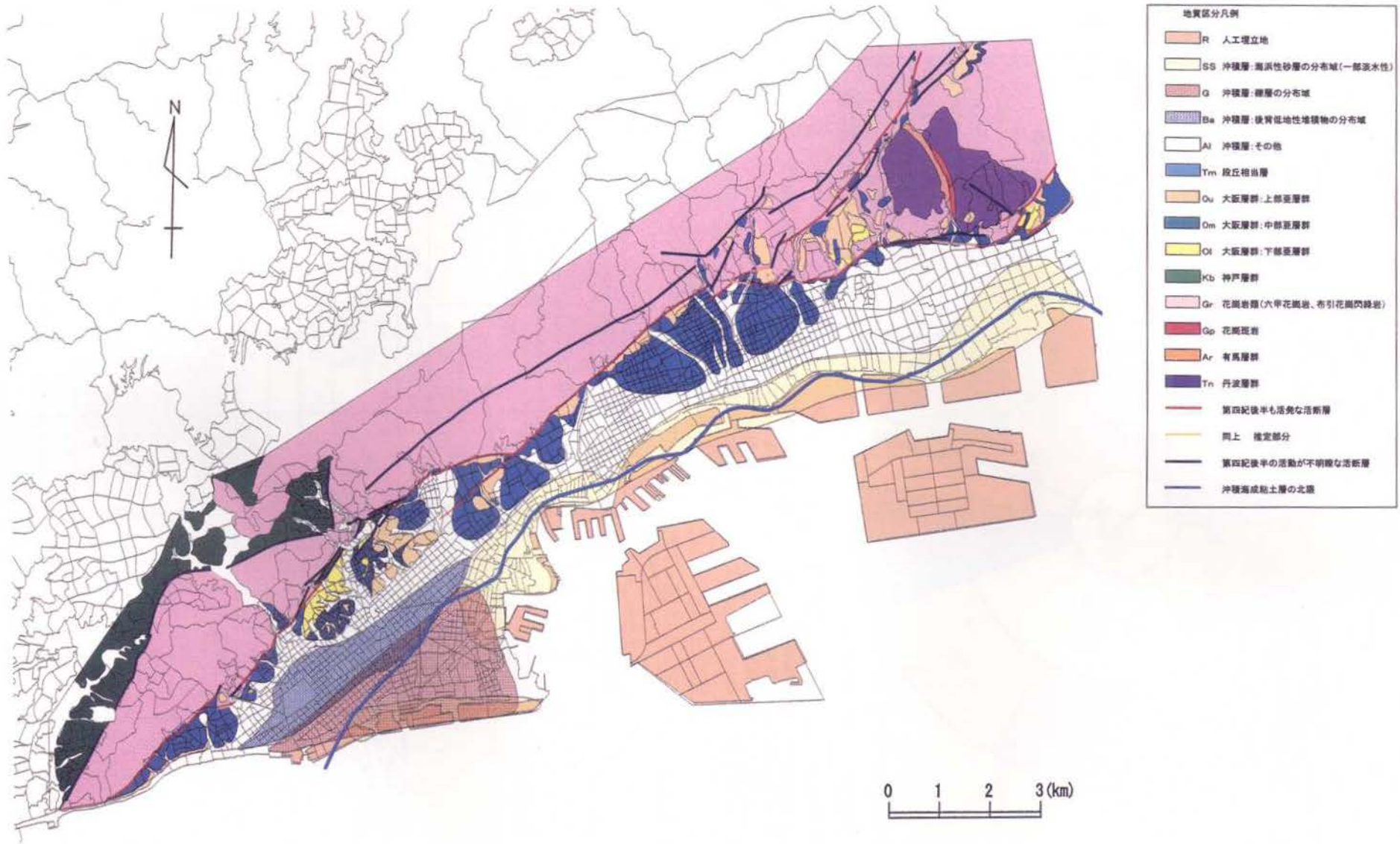


図-3.2.10 地質平面図

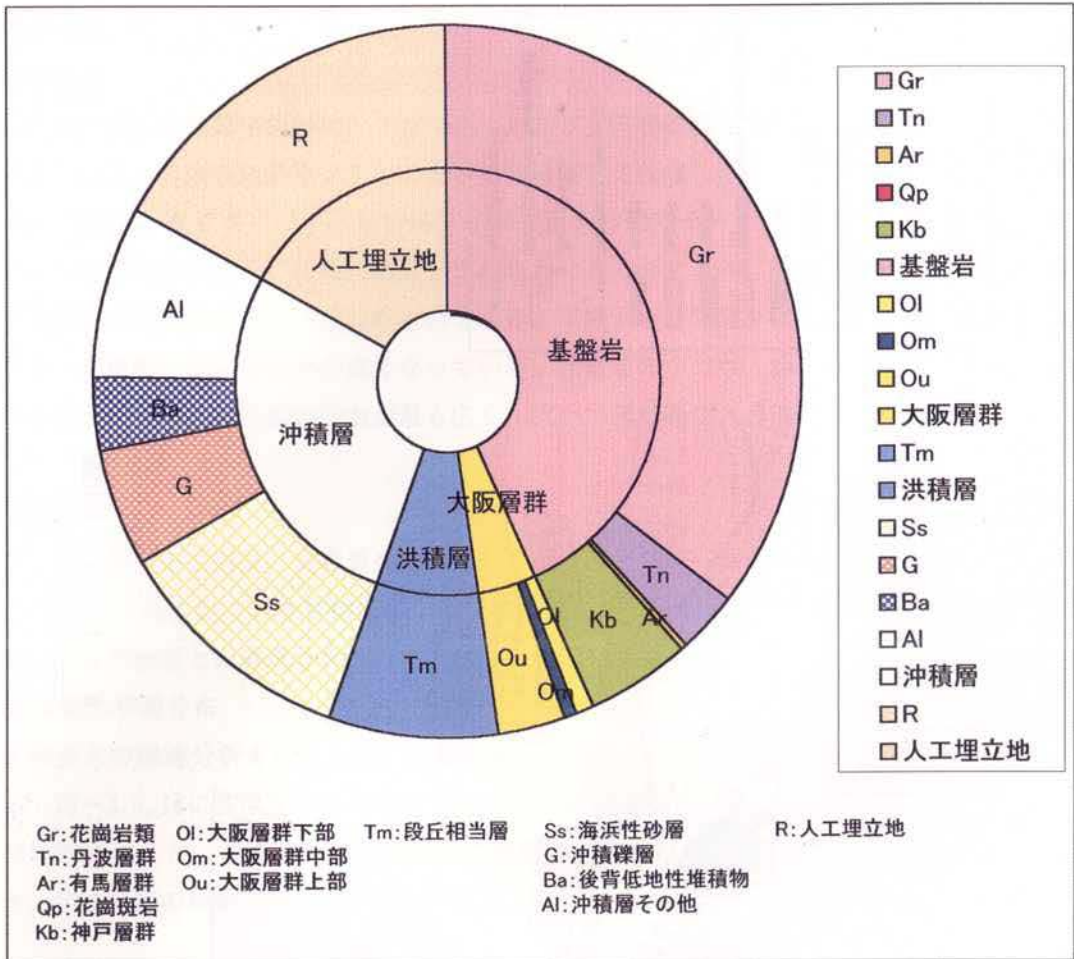


図-3.2.11 各地質要素の面積比

地質記号	地質名	面積 (km ²)	
Gr	花崗岩類	44.64	
Tn	丹波層群	3.64	
Ar	有馬層群	0.22	
Qp	花崗斑岩	0.14	
Kb	神戸層群	5.86	
基盤岩		(合計)	54.50
Ol	大阪層群下部	1.01	
Om	大阪層群中部	0.86	
Ou	大阪層群上部	3.94	
大阪層群		(合計)	5.81
Tm	段丘相当層	9.87	
洪積層		(合計)	9.87
Ss	海浜性砂層	13.70	
G	沖積礫層	6.79	
Ba	後背低地性堆積物	4.10	
Al	沖積層その他	9.75	
沖積層		(合計)	34.35
R	人工埋立地	21.50	

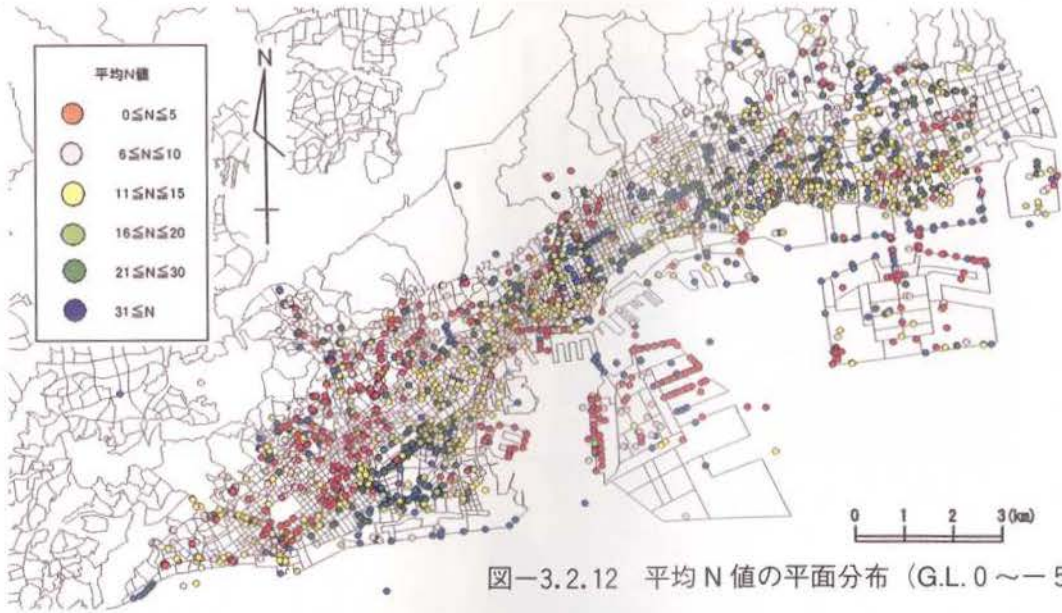


図-3.2.12 平均N値の平面分布 (G.L. 0 ~ -5 m)

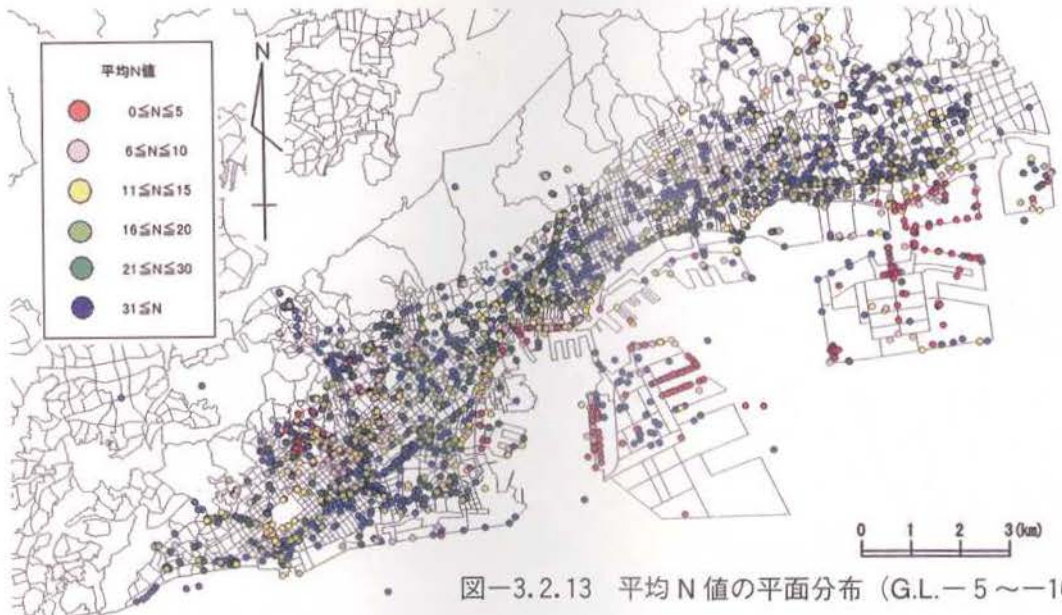


図-3.2.13 平均N値の平面分布 (G.L. -5 ~ -10m)

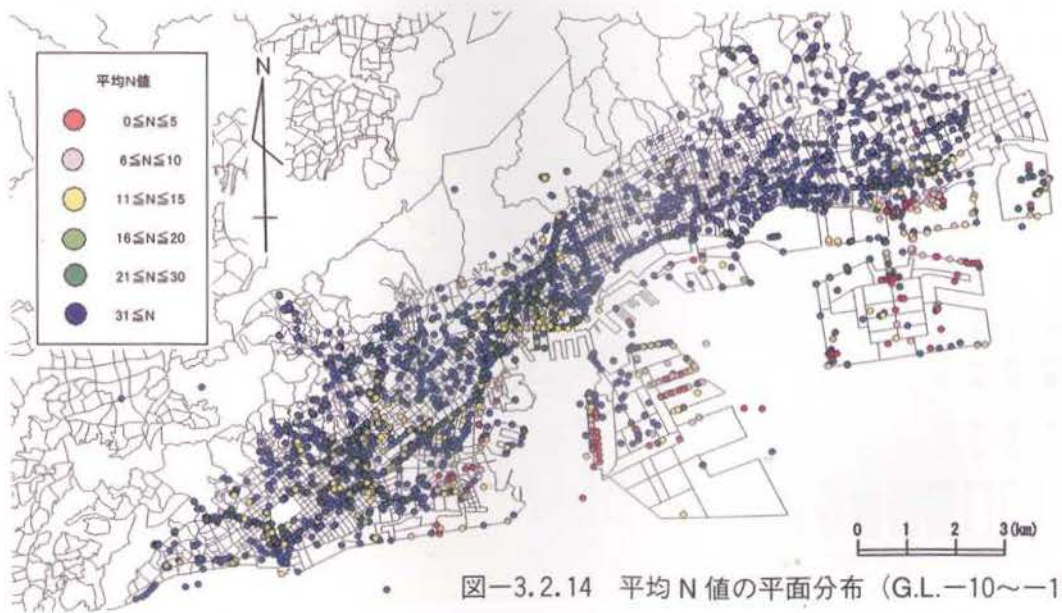


図-3.2.14 平均N値の平面分布 (G.L. -10 ~ -15m)

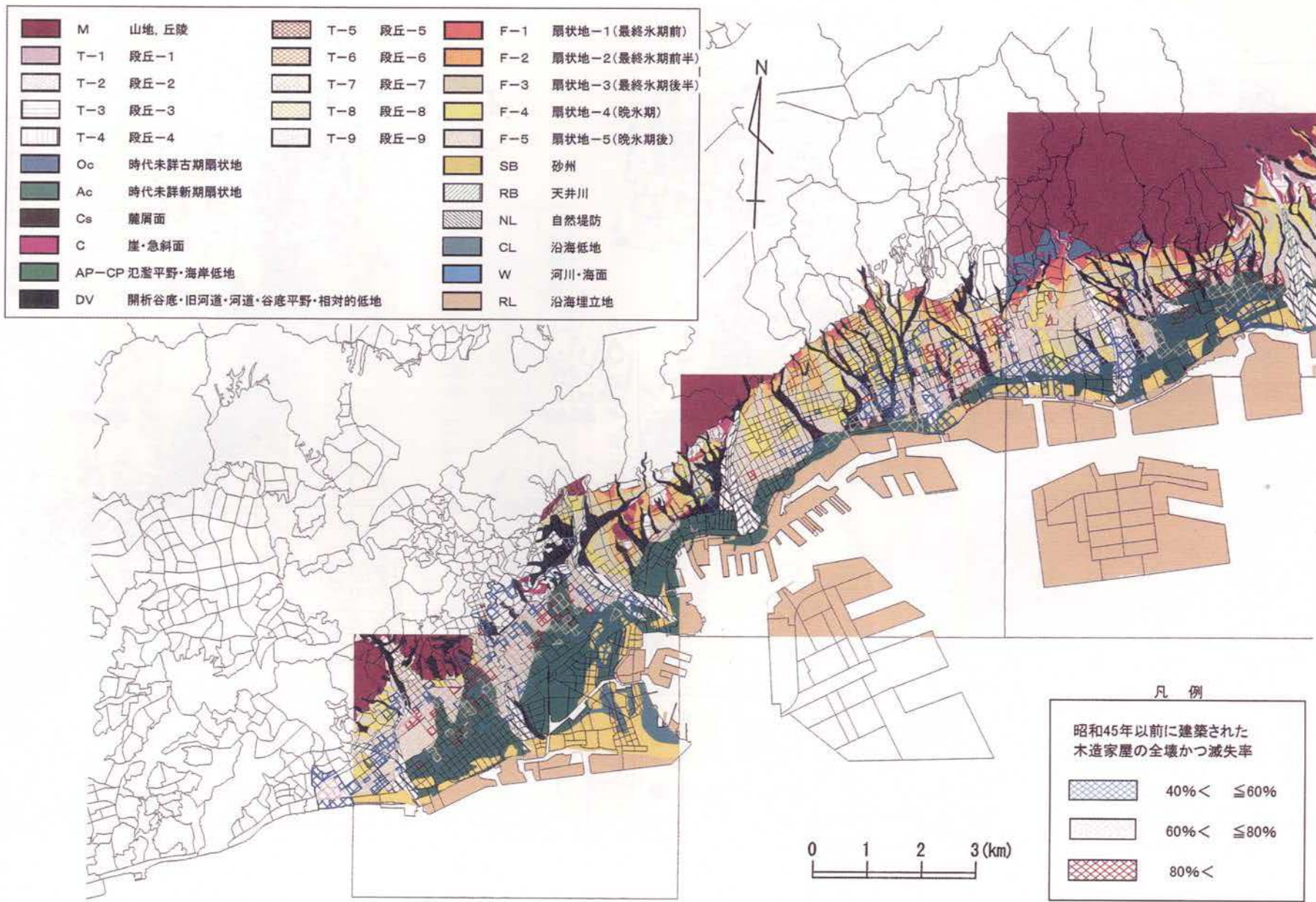


図-3.2.15 微地形区分図と木造家屋の被害率分布

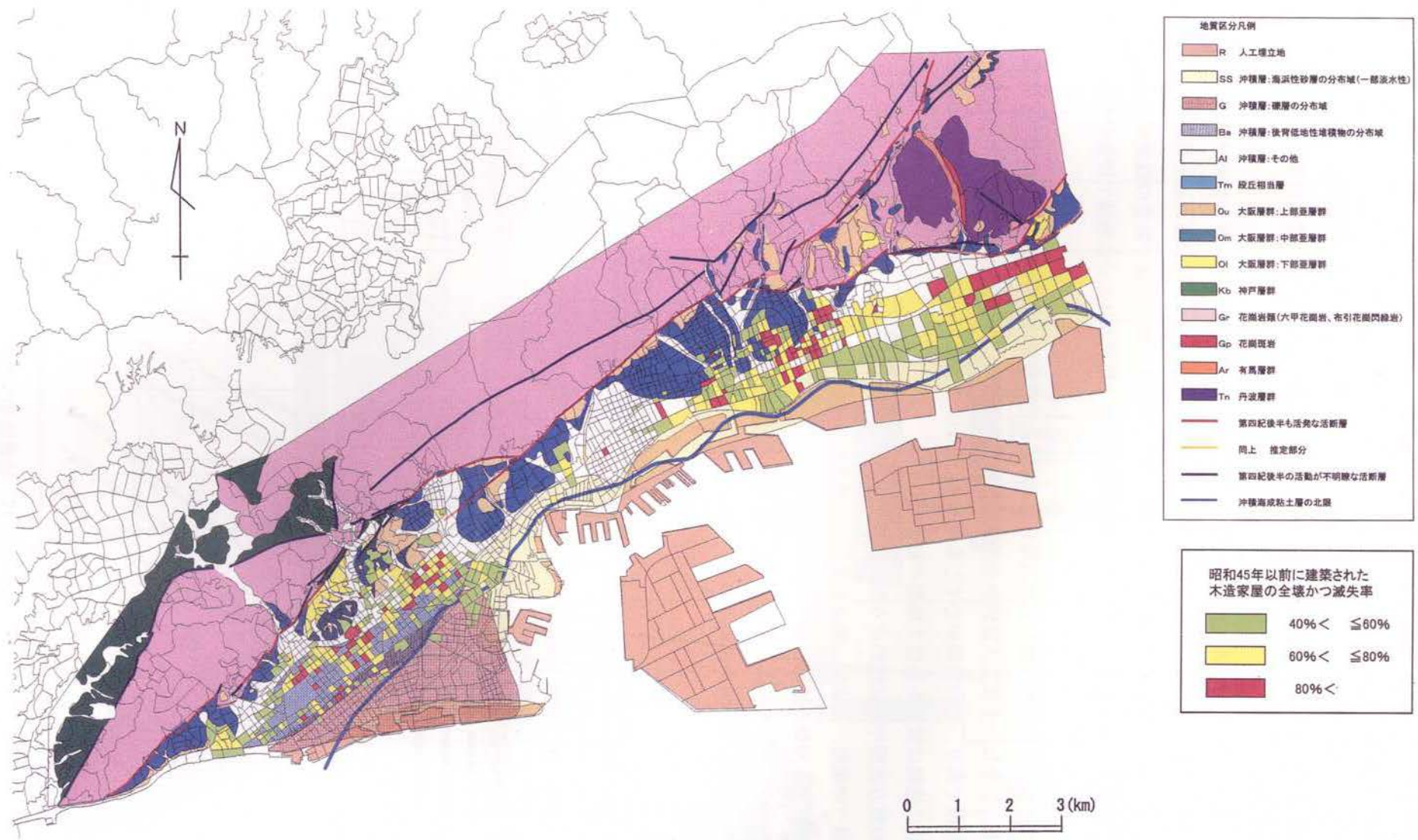


図-3.2.16 地質平面図と木造家屋の被害率分布

図-3.2.18は地質断面図上に建物被害ランク（図上部の棒状分布）をプロットしたものである（断面位置については図-3.2.17に示す）。

これらのうち、東灘区を主体とした断面図(1)～(5)においては、建物被害は沖積層の厚い部分で集中していることがわかる。また、山麓部で沖積層の層厚が急激に薄くなる部分で被害の程度が大きくなることも特徴の一つである。

(6)～(8)の中央区付近における断面では沖積層の層厚は大きいにもかかわらず、被害はほとんどないか、あっても被害は小さい。これは、この地域の沖積層が礫層により構成されているためと推定される。

(9)～(12)の長田区～須磨区にかけての断面でも被害は沖積層の厚い部分で被害の程度が大きい。より詳細に見ると沖積層の中でも砂、粘土等の比較的細粒の土質で構成されている地域で被害が大きかったと推定される。

以上述べた通り、建物被害は新しい地質時代に形成された軟質な沖積層の分布地域に集中して発生したことがいえる。しかし、JR三ノ宮駅から灘駅にかけての地域は、沖積層の分布地域であるにもかかわらず、被害が軽微であり、この関係が必ずしも成り立たない。その要因に関しては、現在のところ検討中であるが、一般に建物に被害を及ぼす地盤の影響としては、

- ・地盤の側方流動や液状化のような建物の支持地盤の破壊
- ・堆積層（沖積層、造成地、埋立地等）での地震動の増幅（周波数特性等の変化も含む）
- ・地震動による地盤-建物連成系の共振現象

等が挙げられるが、建物被害との関係については個々の問題で、上記の項目は建物に対し有利に働くものもあれば、不利に働く場合もあり得るので、今後、動的解析等を通して解明しなければならない課題の一つに挙げられる。

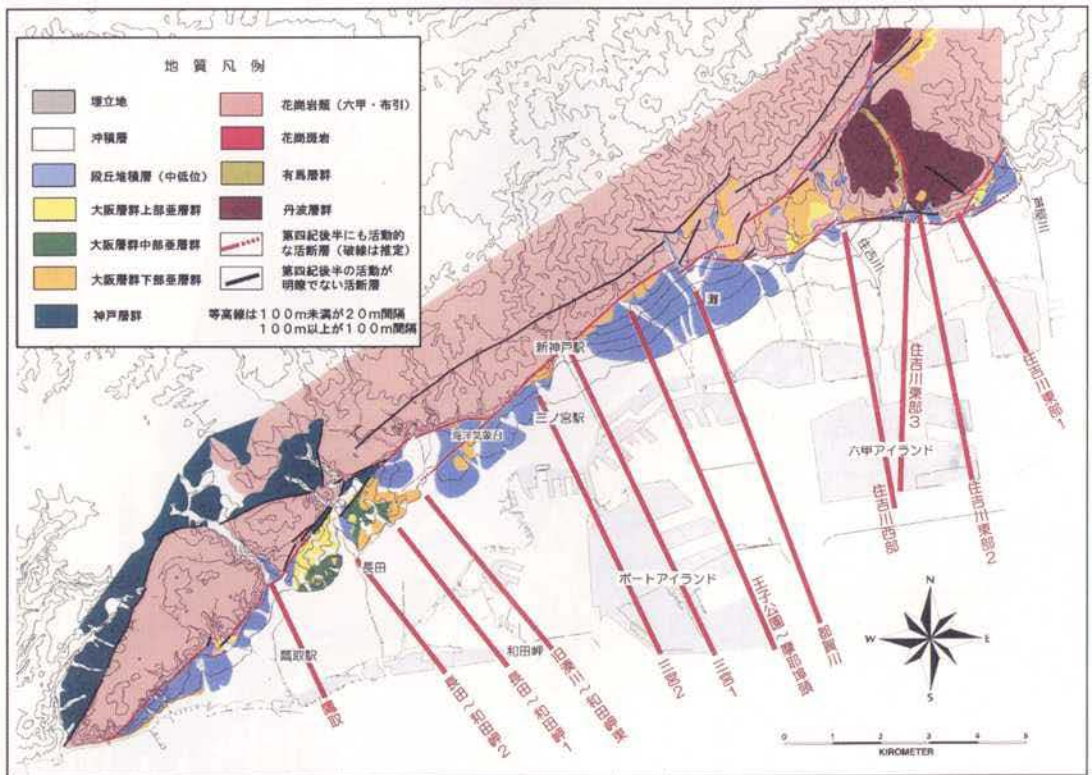


図-3.2.17 地質断面位置図

(1) 住吉川東部 1

被害状況

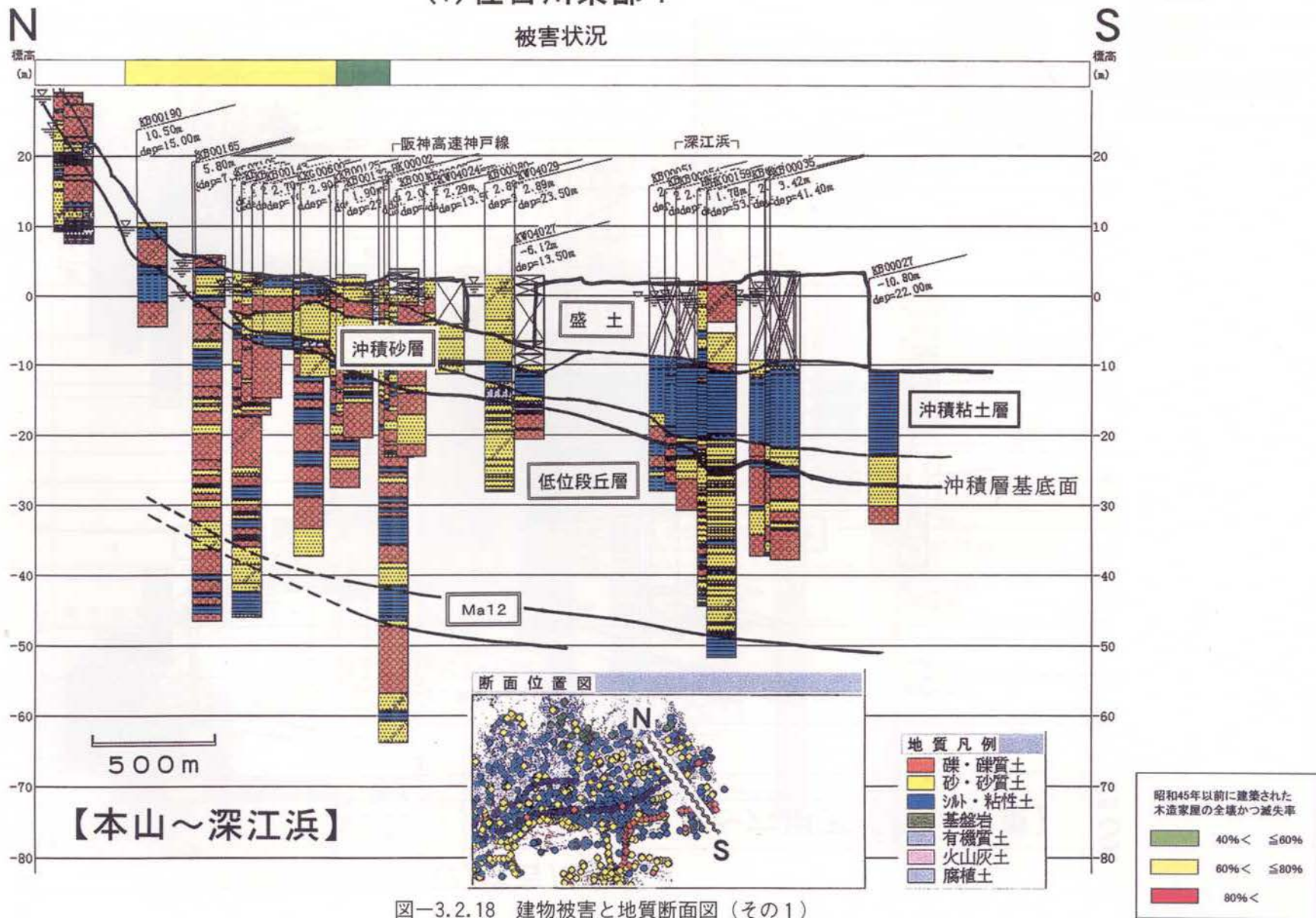


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その1)

(2) 住吉川東部 2

被害状況 【岡本～六甲アイランド東】

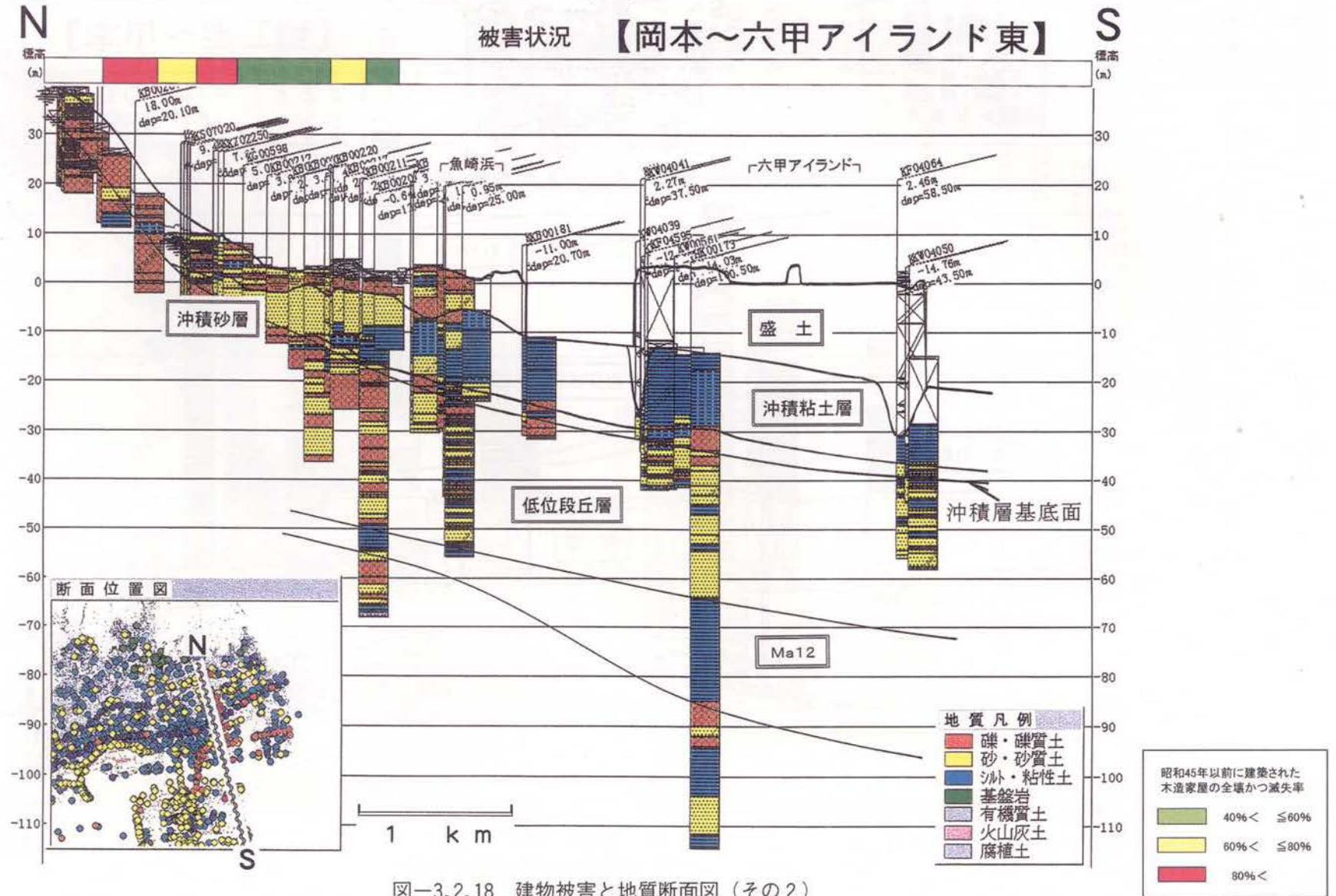


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その2)

(3) 住吉川東部 3

被害状況

【岡本～六甲アイランド】

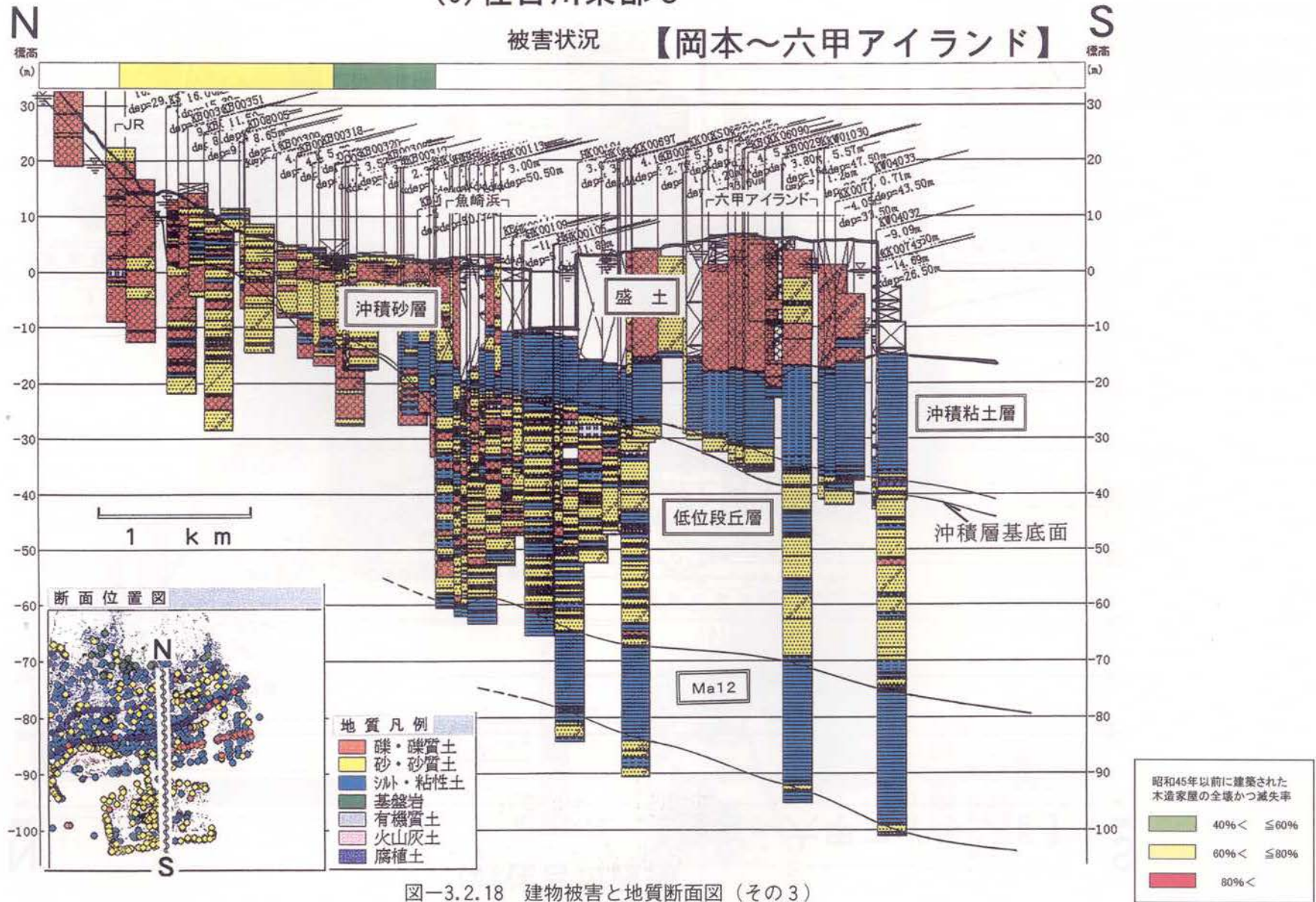


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その3)

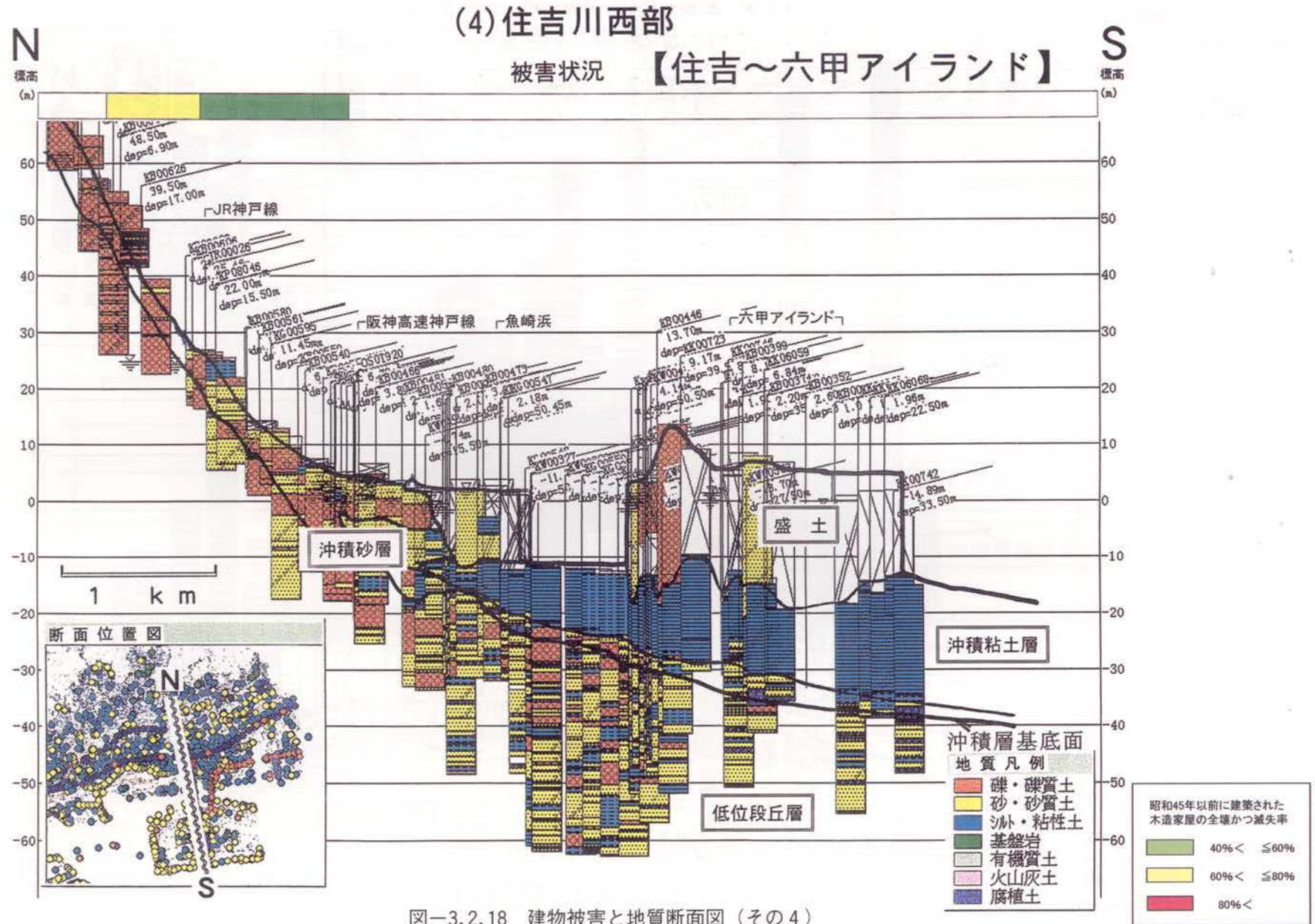


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その4)

(5) 都賀川地域

被害状況 【都賀川～ポートアイランド東】

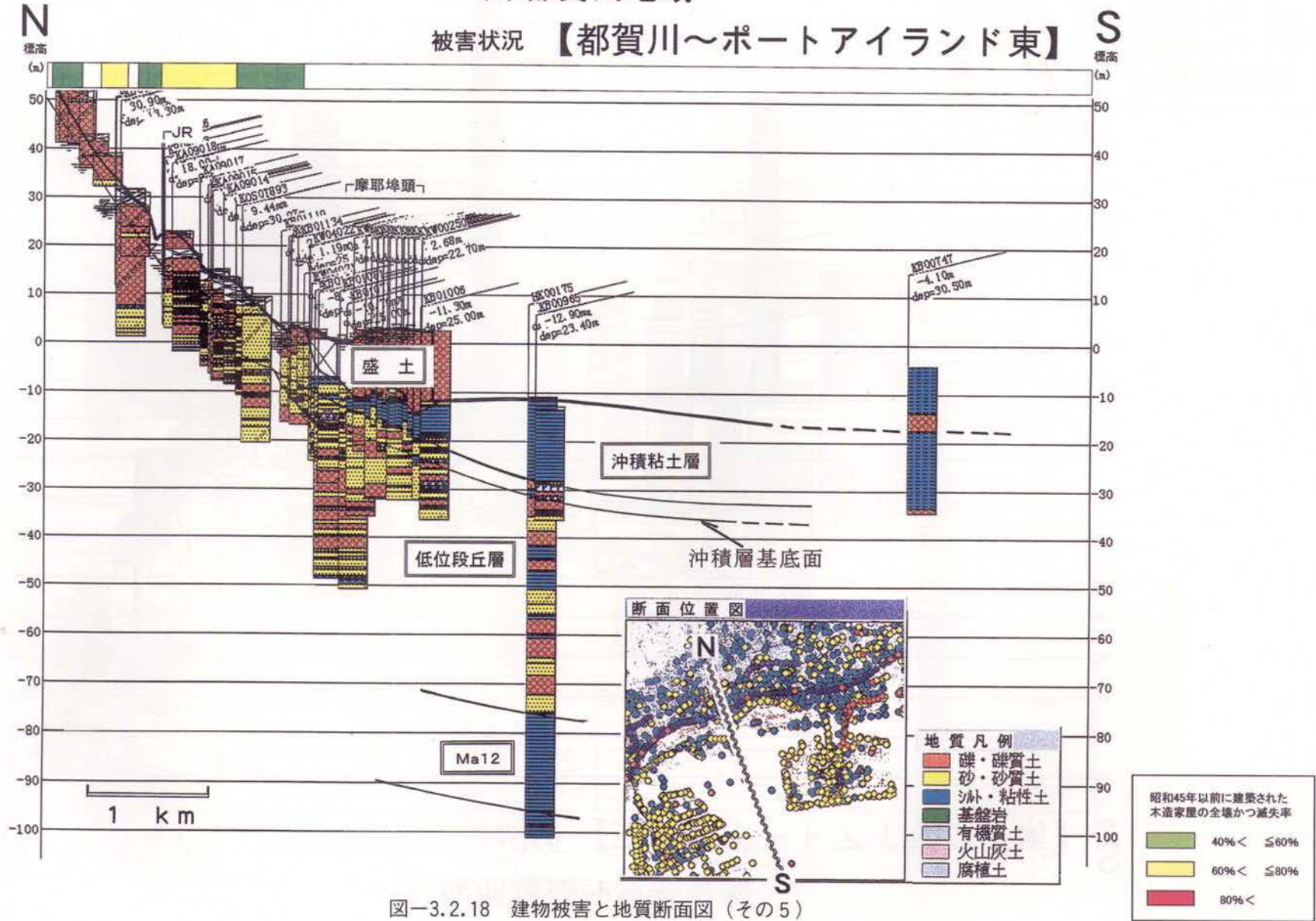


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その5)

(6) 摩耶埠頭～王子公園

被害状況 【王子～ポートアイランド南】

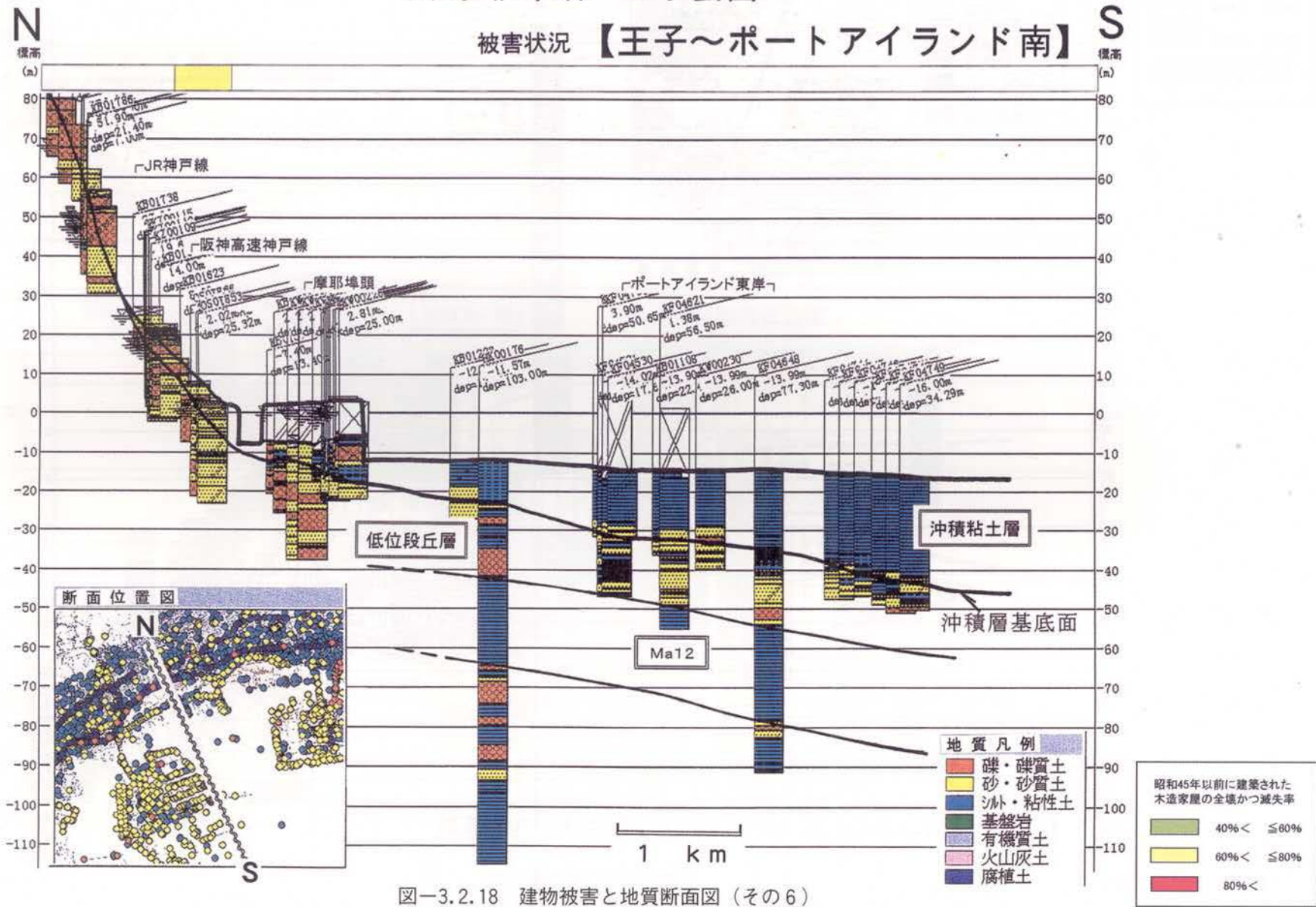


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その6)

(7)三宮地域 1

被害状況 【新神戸～ポートアイランド】

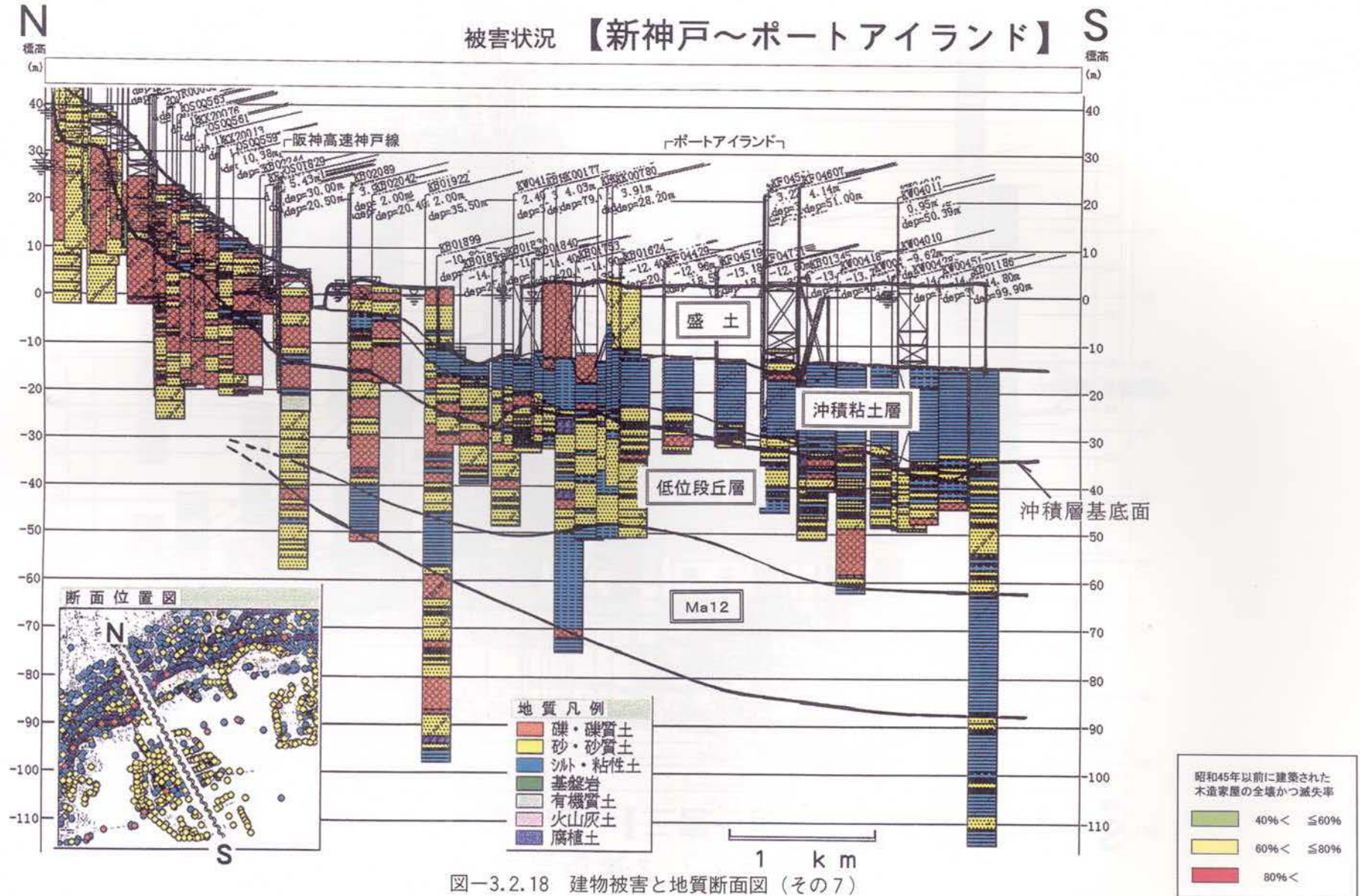


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その7)

(8)三宮地域 2

被害状況 【三宮～ポートアイランド】

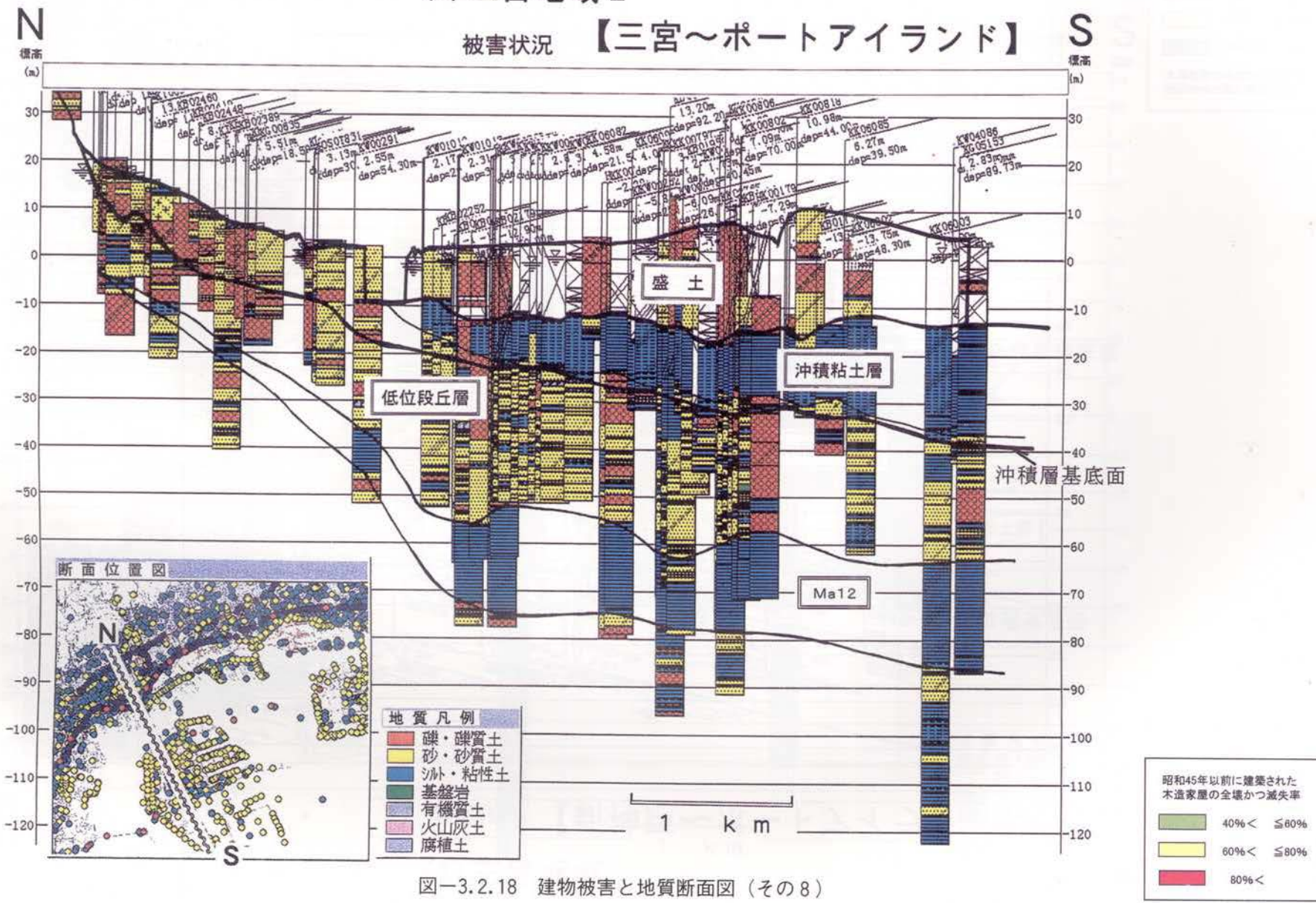


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その8)

(9) 旧湊川～和田岬東方

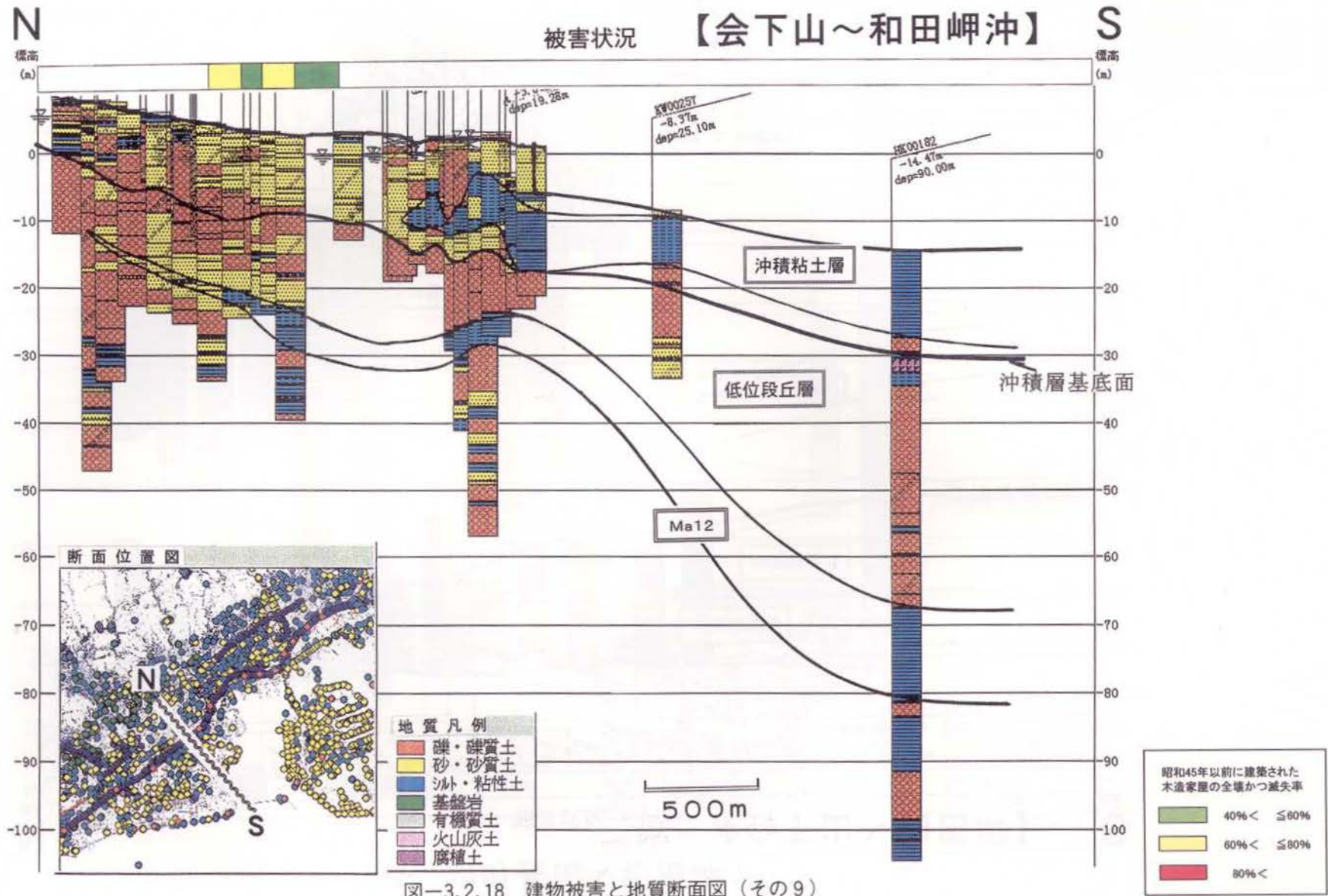


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その9)

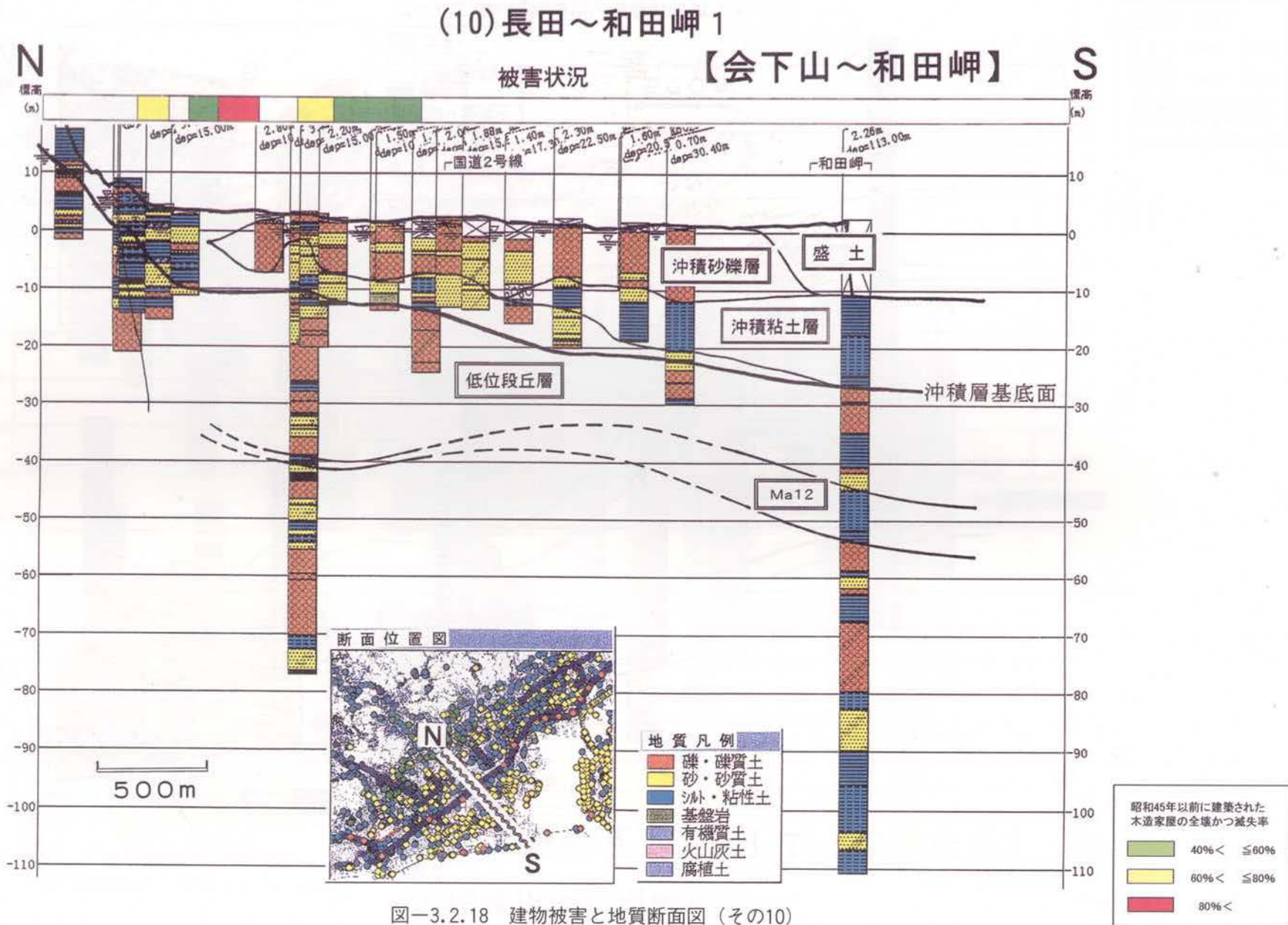


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その10)

(11) 長田～和田岬 2

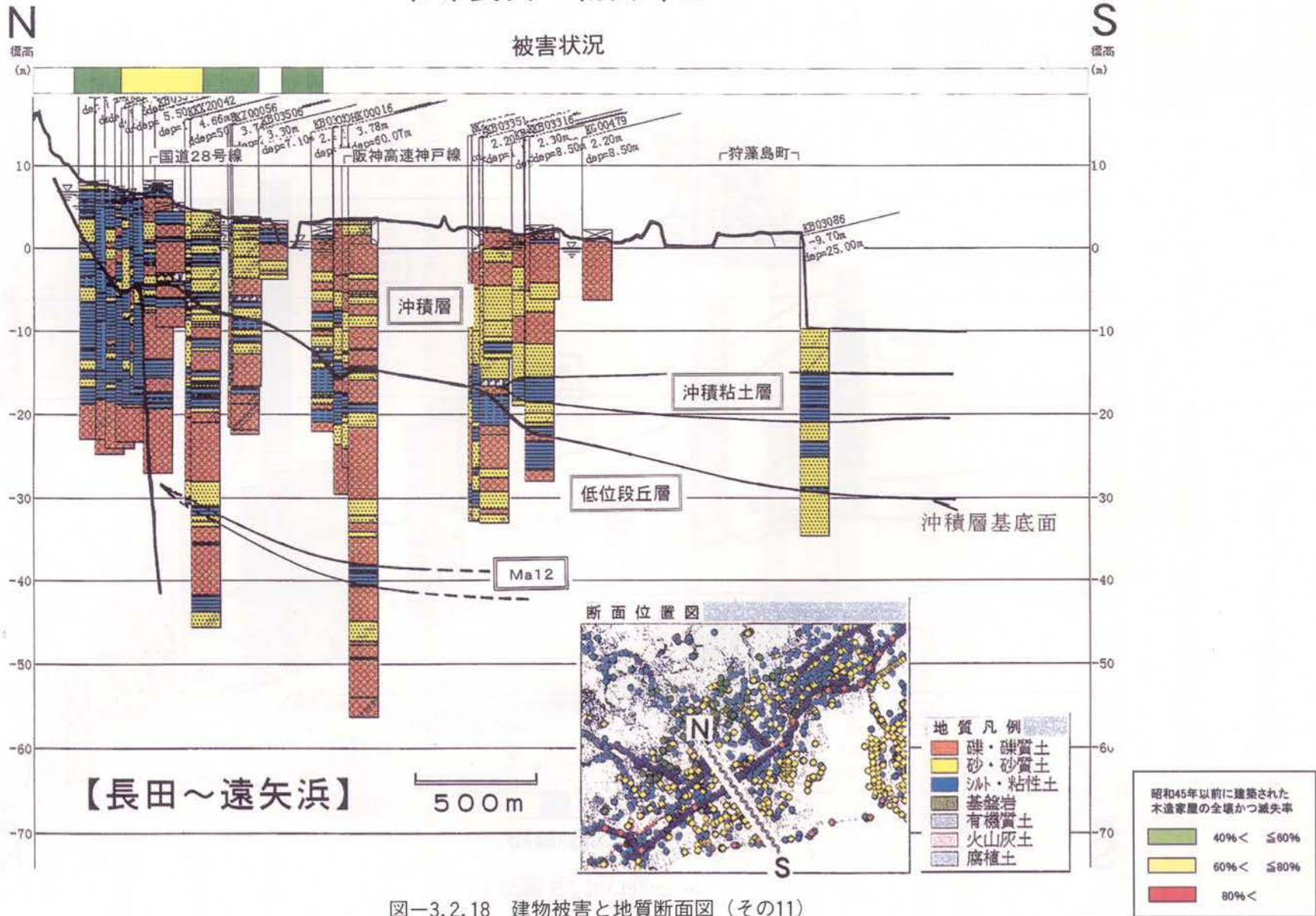


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その11)

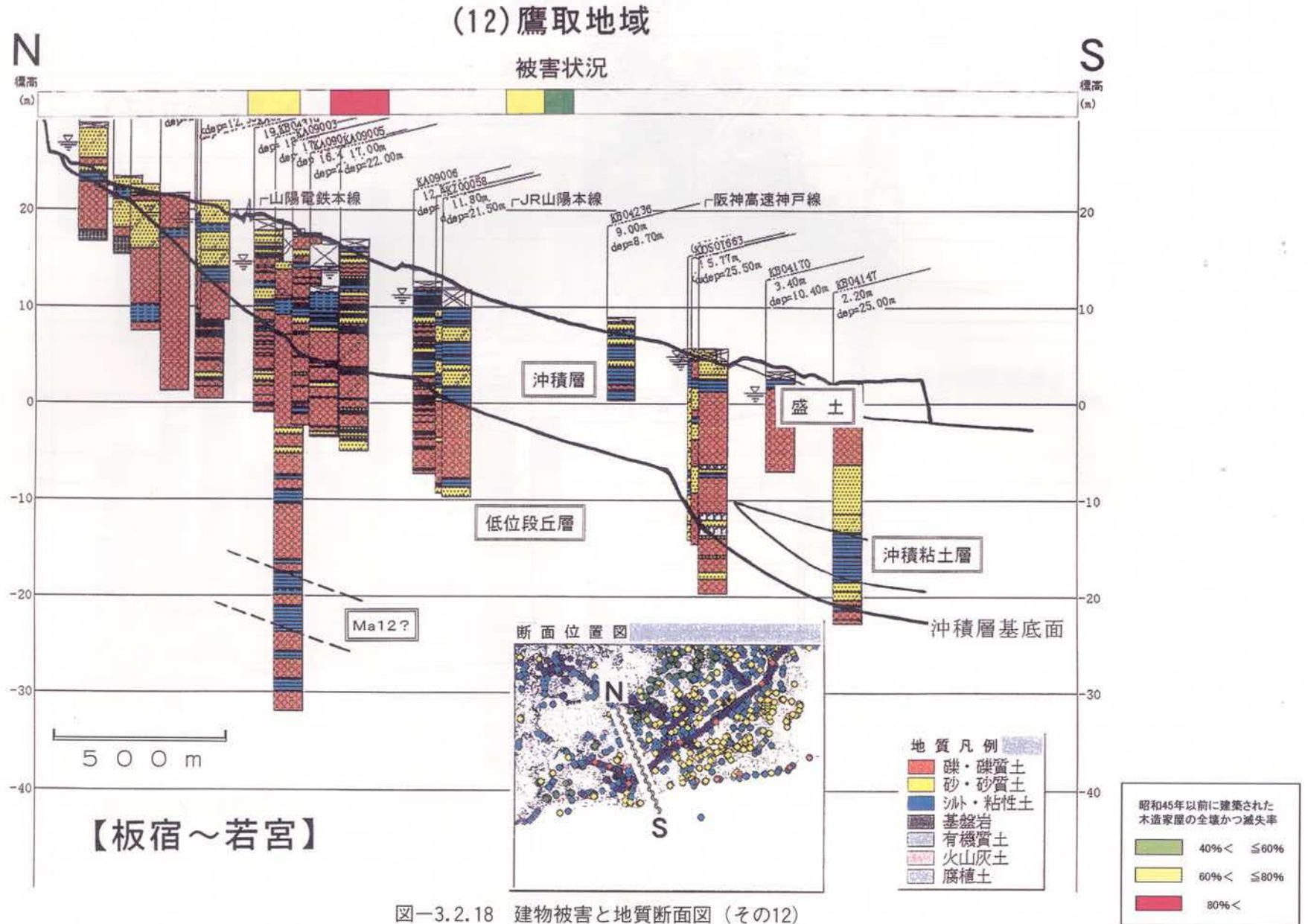


図-3.2.18 建物被害と地質断面図 (その12)

(3)表層 N 値と建物被害

地盤の強度と建物被害との関連分析のひとつとして、建物被害と表層地盤の N 値との関連分析を行った。

図-3.2.19は深度0～5mまでの地盤の平均 N 値と建物被害（昭和45年以前に建築された木造建物の全壊かつ滅失率40%以上）を重ね合わせたものである。

前掲の図-3.2.18に示した建物被害と地質断面図と合わせて、神戸市東部・中央部・西部の各地域について表層 N 値と被害の関連性について若干考察を加える。

①東部地域

○住吉川東部

この地域の東寄りの本山から芦屋にかけての海側では、他地域と比べて粘性土がやや卓越分布し、陸側へは同時異相の砂層に遷移するところも見られる。このような土性の分布域は、住吉川の後背地と見ることができ。

建物の被害状況を見ると、JRと阪神電鉄に挟まれた地域に全壊かつ滅失した建物が多く認められる。一方、平均 N 値の分布は、10回以下の地点が同地域に集中しており、被害と N 値の相関は高いようである。特に、JR本山駅付近から森南町にかけての全壊・滅失80%以上の東西に延びたゾーンと $0 \leq N \leq 5$ の分布は非常に良く一致している。

○住吉川西部

当地域の地盤的特徴としては前記の東部に対し、海浜性の砂層の分布が認められず、ほとんど礫主体で構成されている。

石屋川までの区間における被害は、JR沿いに全壊・滅失60～80%のゾーンが認められるが、N 値を見ると $16 \leq N \leq 20$ の分布が広く、被害の程度の割には N 値が高く、それほど相関が高いとはいえない。また、阪神電鉄魚崎の北側では $0 \leq N \leq 5$ が多く分布しているにも関わらず全壊・滅失率が40～60%で、同様に相関が強いとはいえない。

石屋川から都賀川までの地域は、石屋川の左岸域に比べ全壊・滅失が80%以上のエリアが広く認められる。N 値の分布を見ても、10以下あるいは5以下のところがJRの南側・北側に多く見られ、被害状況とよく一致している。

②中央部地域

都賀川の西から摩耶埠頭の北を経て元町付近にかけての建物被害は他地域に比べそれほど大きくはなく、西郷川西域のJR灘駅付近、阪急春日道の南、生田神社付近に散在する。

西郷川西域のエリアにおける N 値を見ると、10以下あるいは5以下が卓越しており、被害との相関が強い。特にJR灘駅の東西に延びた被害ゾーンと N 値の低い分布とは非常に良く一致している。

阪急春日道の南のエリアについてはボーリングのデータが少なく、特に関係を比較するまでには至っていない。

生田神社付近の N 値を見ると、10以下、5以下が卓越しており、建築被害（全壊・滅失率40～80%）と N 値との相関を強く読みとることができる。

③西部地域

西部地域は海浜起源と考えられる砂および礫、山地起源の扇状地および砂州、浜堤の後背に相当する鷹取～新長田にかけての沖積粘土層の分布が中央部・東部に比べ比較的明瞭に区別しやすいことで特徴づけ

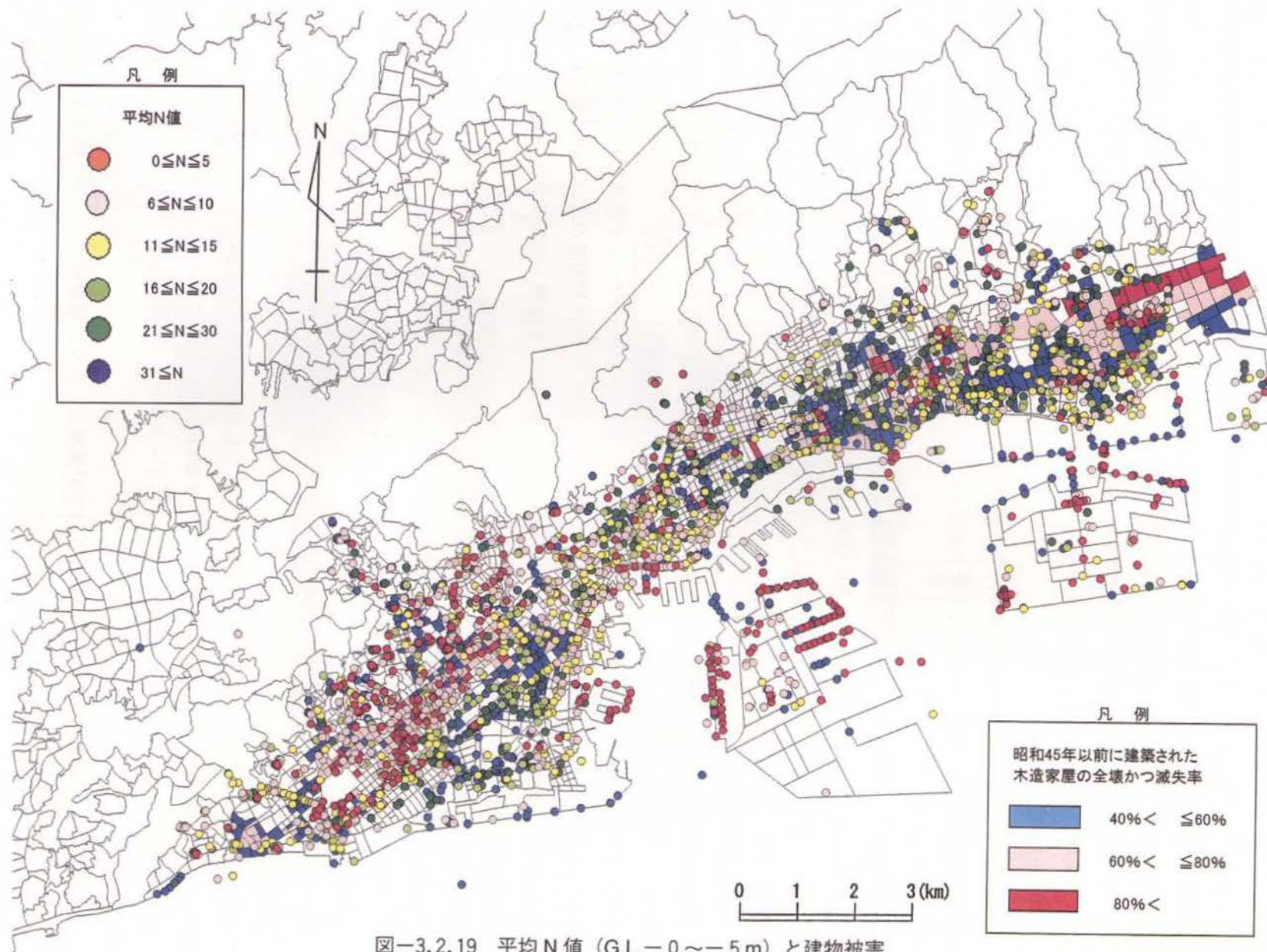


図-3.2.19 平均N値 (G.L.-0~-5m) と建物被害

ることができる。

建物の被害は須磨浦海岸から北東方向にほぼJR線沿いの北側に広く認められる。この大きな被害ゾーンは前述の沖積粘土層の分布域にほぼ一致している。

N値も同ゾーンでは10以下、5以下の低いものが卓越しており、被害との相関は強い。特に新湊川以西のJR新長田付近の全壊・滅失80%以上のエリアとN値5以下の分布地点とは非常に良く一致している。

以上、建物被害について表層地盤のN値という観点から検討したが、その結果、特に表層5mまでの平均N値と被害の間に強い相関があることが示唆されたといえよう。

(4)石屋川左右岸の表層土質特性と建物被害

より詳細に分析することを目的とし、その一例として、石屋川兩岸付近の表層土質特性と建物被害について検討を行った。

灘区と東灘区の境界を直線的に流れる石屋川下流域の低地部において、西側（右岸側）の地域は、東側（左岸側）に比べ昭和45年以前に建てられた木造建物において大きい被害が見られた。

両地域の低丘陵地から低地までは、標高T.P.25m前後から平均斜度1～2°で海岸まで至っている。地形的には、低地部を除きほとんど緩扇状地地形で共通している。

建物被害率（昭和45年以前に建築された木造建物の全壊・滅失率）は石屋川を挟んで東側の住吉川までの地域と西側の都賀川までの地域を比べると、前者の20～60%に対し、後者は60%～80%以上を示すところが多い。

このように、建物被害率に差がある原因を見るために、ここでは地表（0m～15m）の土質特性をN値と粒度組成で表したが、その傾向を以下に述べる。

図-3.2.20は被害と地盤の特性を見るためのブロック区分を前掲した地質平面図を用いて示したものである。

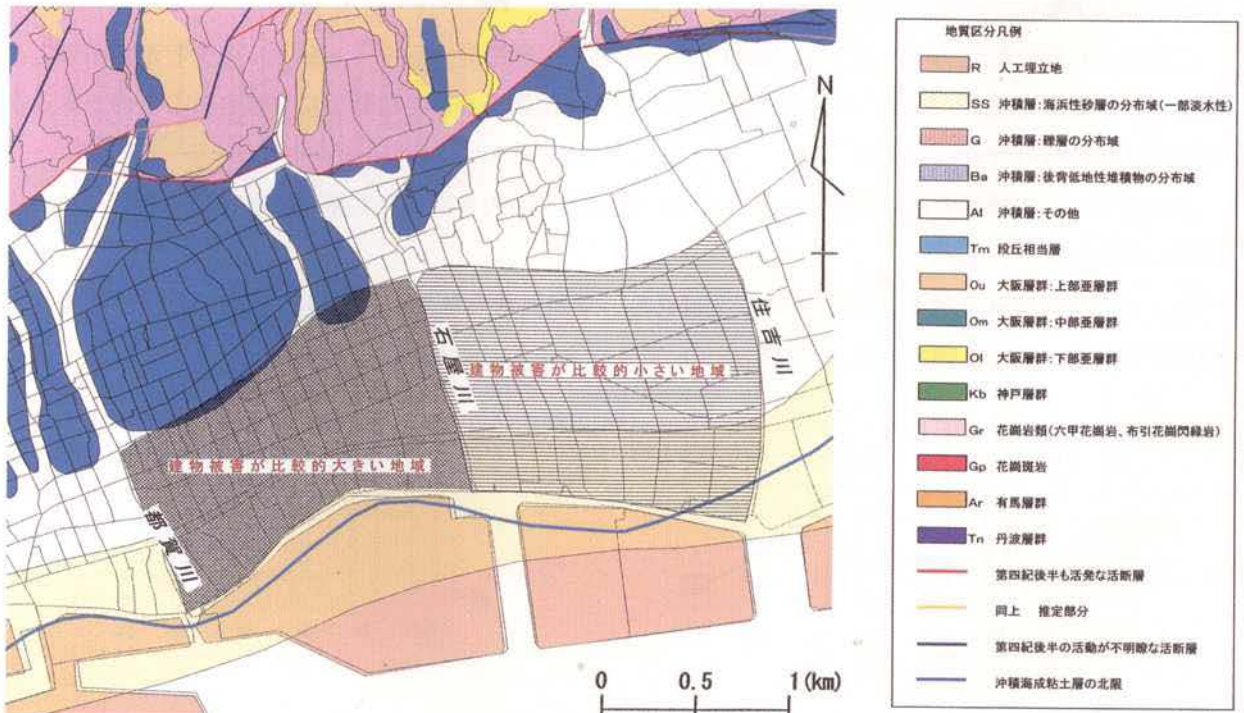


図-3.2.20 建物被害と表層N値、粒度組成の対比対象区域図

①N 値の分布傾向

図-3.2.21は地表から15m までの間を4 区分し、それぞれの区間における N 値の加積曲線と頻度を表したものである。

各区間の N 値の頻度傾向を見ると、0～2m 区間を除いて、右岸側が左岸側に比べ N 値の低いものが卓越しているようである。特に、2～5m 区間、5～10m 区間ではその傾向が強い。

また、0～15m までの区間 N 値を累積して表したものを図-3.2.22に示す。これによっても同様な傾向を示し、0～10m、0～15m を見ると、左岸側では N 値の高い範囲のものが卓越するのに対し、右岸側では逆に N 値の低い範囲のものが優勢である。

次に、N 値の加積曲線から N₅₀（加積曲線の50%に相当する N 値）を読み取り、表-3.2.2にその結果を示す。

表-3.2.2を見ると、全区間を通じて左岸に比べ建物被害の大きかった右岸の方が N₅₀値の低いことが解る。特に5 m 以深でその差が大きくなる。

表-3.2.2 区間の N₅₀

深 さ 地 域	各区分 N ₅₀ (回)				累積区分 N ₅₀ (回)			
	0～2m	2～5m	5～10m	10～15m	0～2m	0～5m	0～10m	0～15m
左 岸	11	20	45	48	11	23	36	40
右 岸	10以下	18	28	38	10以下	15	22	26

②粒度組成

図-3.2.23に表層15m 間を深さ別に3 区分し、区間累積の粒径曲線を示した。左岸側に比べ右岸側のデータ数は少ないが、傾向は読み取れる。

これによれば、粒径のバラツキは右岸側の方が大きく、細粒分（シルト・粘土）の含有が40%以上占めるものが半数近くある。当然これらは土質分類としては粘性土もしくは粘土に分類されるものであるが、左岸では細粒分の含有は少ない。

このように、浅層部の粒度組成からも左岸側に比べ被害の大きかった右岸側に細粒分を含む地層の分布が多い傾向が見られる。

ここでは、被害区分域を N 値および粒度組成という側面から見たが、石屋川左岸と右岸では明らかな相違が見られ、被害と調和するような傾向が示唆されるようである。

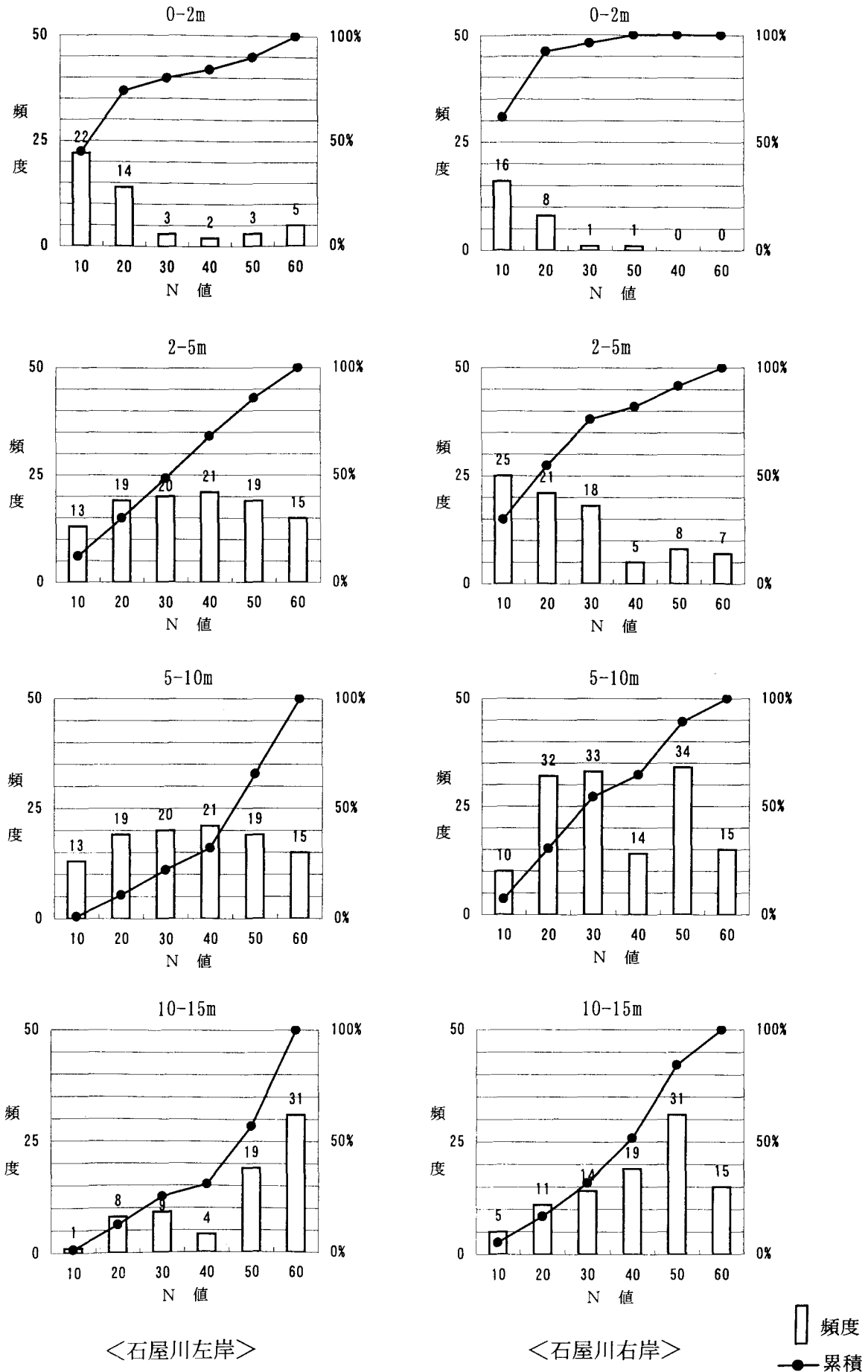


図-3.2.21 各区分深さごとのN値の分布累積図

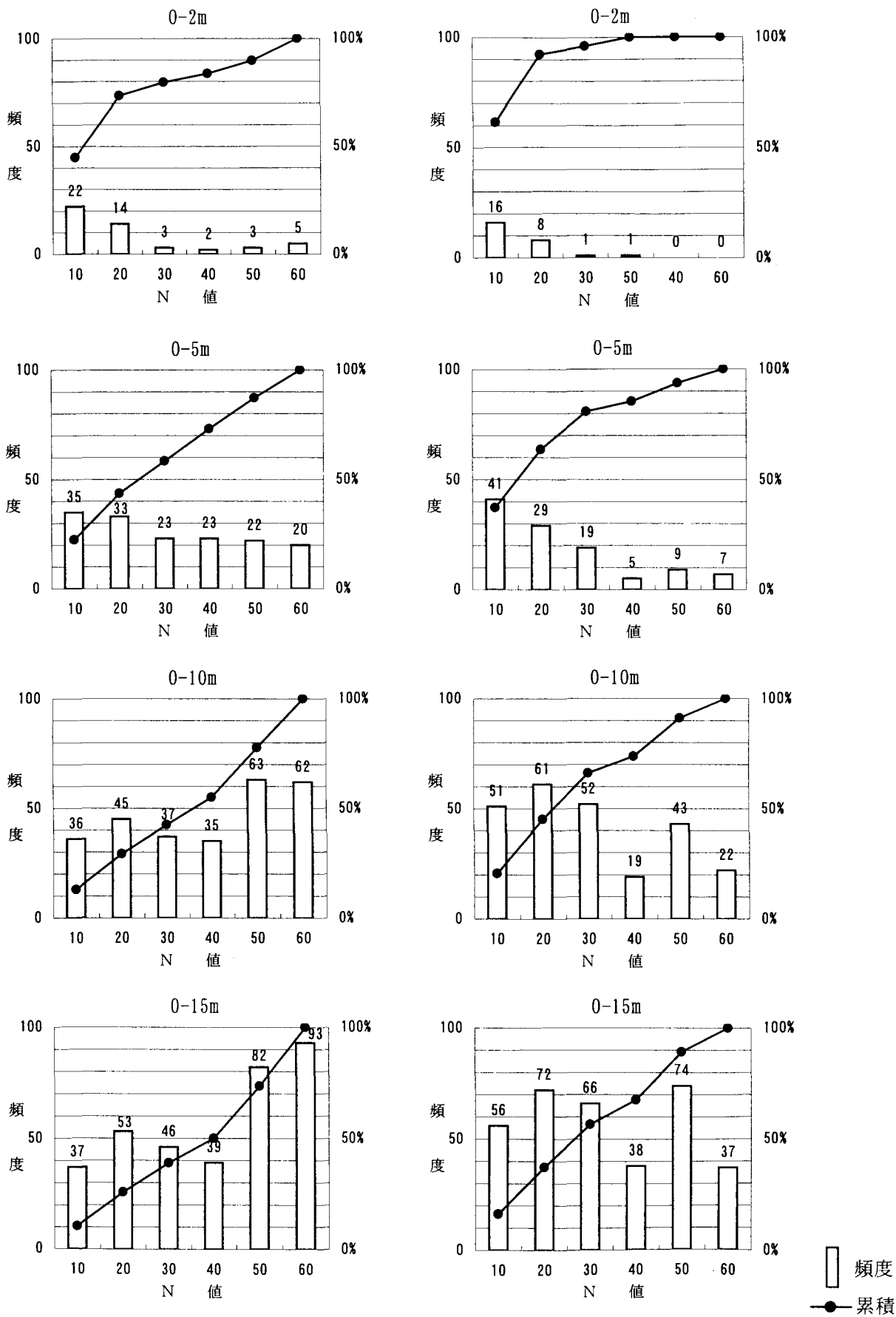
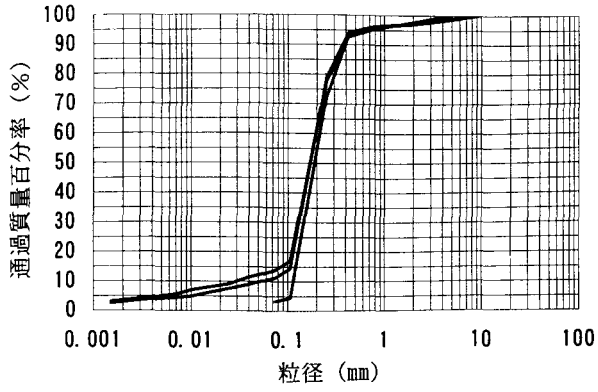
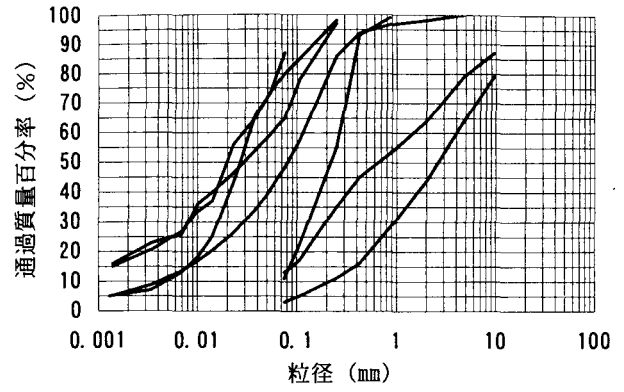


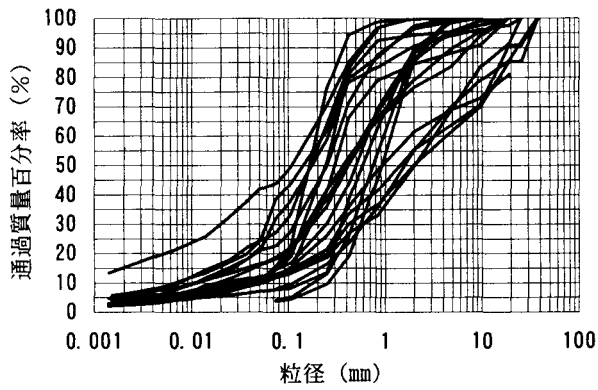
図-3.2.22 15mまでの区間N値の分布累積図



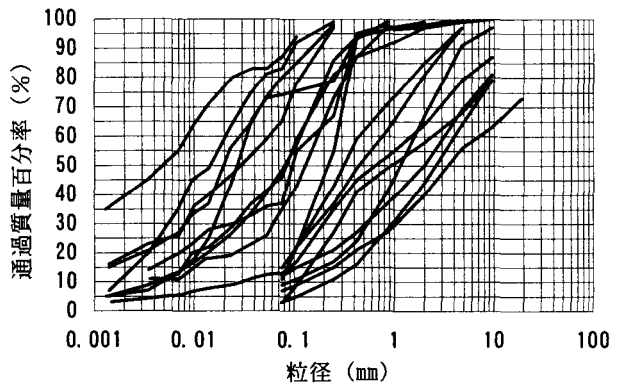
深さ 0-5m



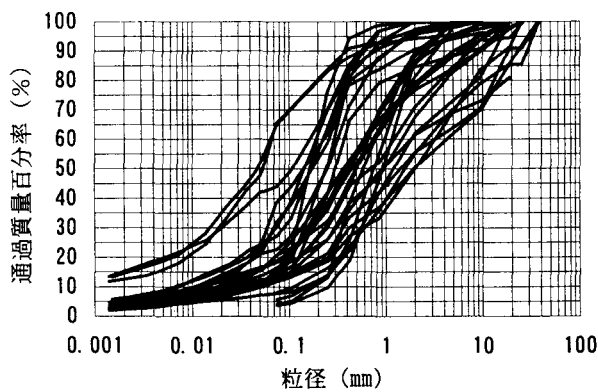
深さ 0-5m



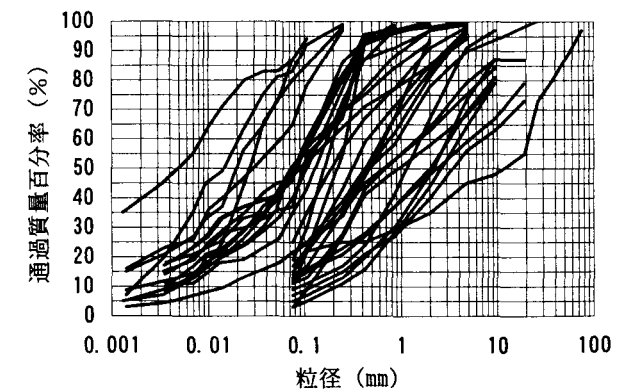
深さ 0-10m



深さ 0-10m



深さ 0-15m



深さ 0-15m

<石屋川左岸>

<石屋川右岸>

図-3.2.23 15mまでの区間累積粒径加積曲線図

3.2.3 土木構造物被害および地盤変位データと地形・地質

(1) 概要

前項までに示した地形・地質データと土木構造物被害および地盤変位データは、「神戸 JIBANKUN」で重ね合わせて出力できる。重ね合わせた上で、これらの関連性の分析を行う。ここで検討する地形・地質データと土木構造物被害および地盤変位データの一覧を以下に示した。

被害および地盤変位データ	地形・地質データ
上水道管被害	旧地形 微地形区分図 傾斜区分図 地質平面図, 断面図
下水道管被害	旧地形 微地形区分図 傾斜区分 地質平面図, 断面図
擁壁被害位置	旧地形 地質平面図
地盤変位データ	旧地形 微地形区分図 地質平面図

(2) 地形との関連分析

① 上水道管および下水道管被害と旧地形

図-3.2.24および図-3.2.25は、それぞれ長田区北部、東灘区北部の丘陵地について、上水道管被害位置、下水道管被害位置（本管、ヒューム管、破損）と旧地形（谷埋め盛土域、旧ため池部分）とを重ねて出力したものである。両方の地域とも共通の特徴があり、これらの地区の丘陵部の上下水道管の被害は谷埋め盛土域と、旧ため池位置に集中する傾向にある。

② 上下水道管被害と微地形区分

図-3.2.26は、上水道管被害位置、下水道管被害位置（本管、ヒューム管、破損）と微地形区分を重ねて出力したものである。同図に示した通り、被害位置は地形区分での埋立地、氾濫平野、海岸低地等の海岸地域と、開析谷底、河道、自然堤防等の河川沿いに集中する傾向にある。

図-3.2.27のヒストグラムは、地形区分と被害件数の関係を示したものである。

図-3.2.27に示した通り、最も被害件数が多い微地形区分は AP：氾濫平野・海岸低地であり、F5：扇状地-5が多い。同一の地形要素である扇状地に着目すると、時代的に新しい要素ほど（F5に向かって）被害件数は大きくなっている。

被害件数を各微地形区分の表面積で割った値で見ても同様の傾向を示し、F5、F4、AP、DVといった新しい微地形要素で比率が高くなっている。なお、T3、RBで比率が高くなっているが、これは元々それらの微地形要素の面積が小さいことに起因するものである。

③ 上下水道管被害と傾斜区分

図-3.2.28は、上水道管被害位置および下水道管被害位置（本管、ヒューム管、被害破損）と地表面傾斜区分図（100mメッシュ）を重ねて出力したものである。同図に示した通り、被害位置は傾斜区分で2°以下の部分に集中している。特に、東灘～灘区にかけてその傾向は明瞭である。長田区北部に傾斜3°～15°の地区で被害集中域が見られるが、これは①で述べた丘陵地谷埋め盛土地域である。図-3.2.29に、被害点数の関係と地表面の傾斜をヒストグラムにして示した。

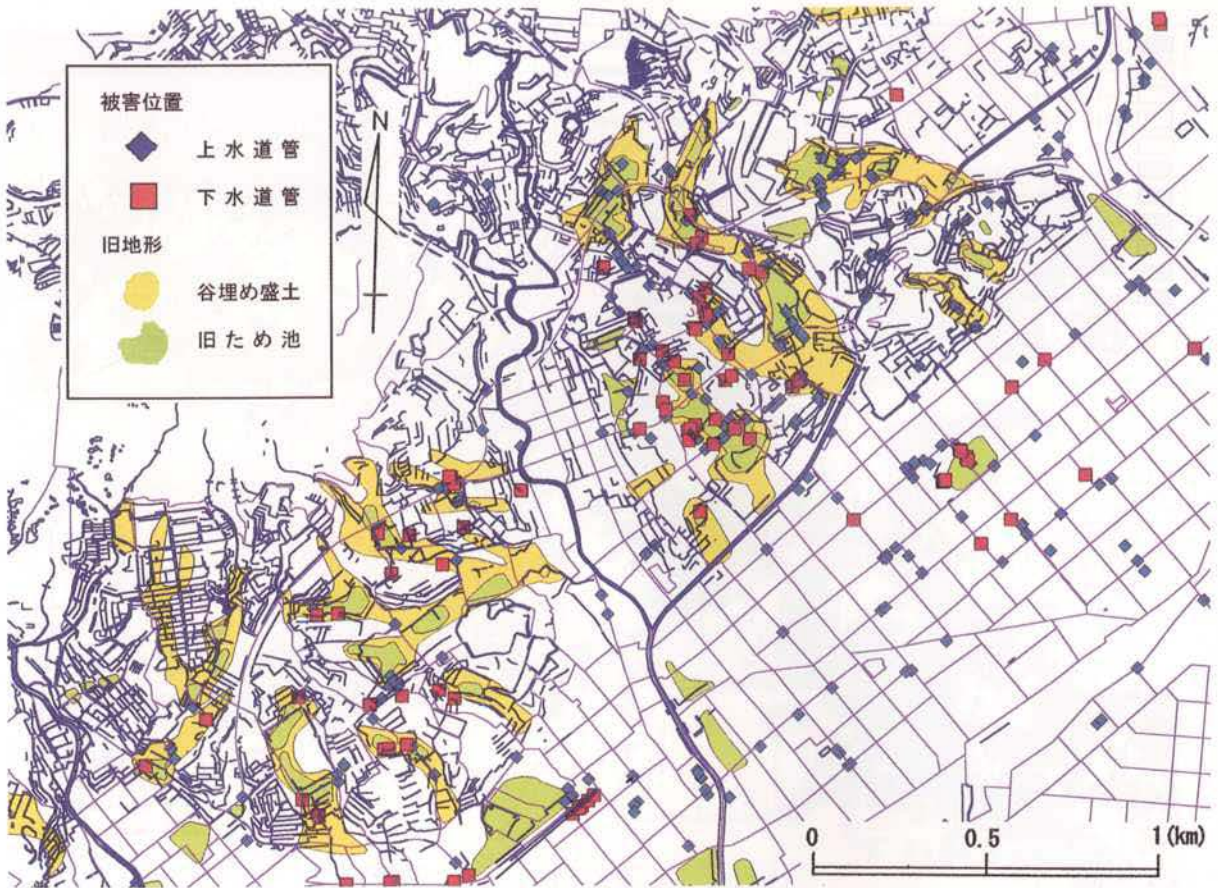


図-3.2.24 上水道管および下水道管被害位置と旧地形（長田区北部）

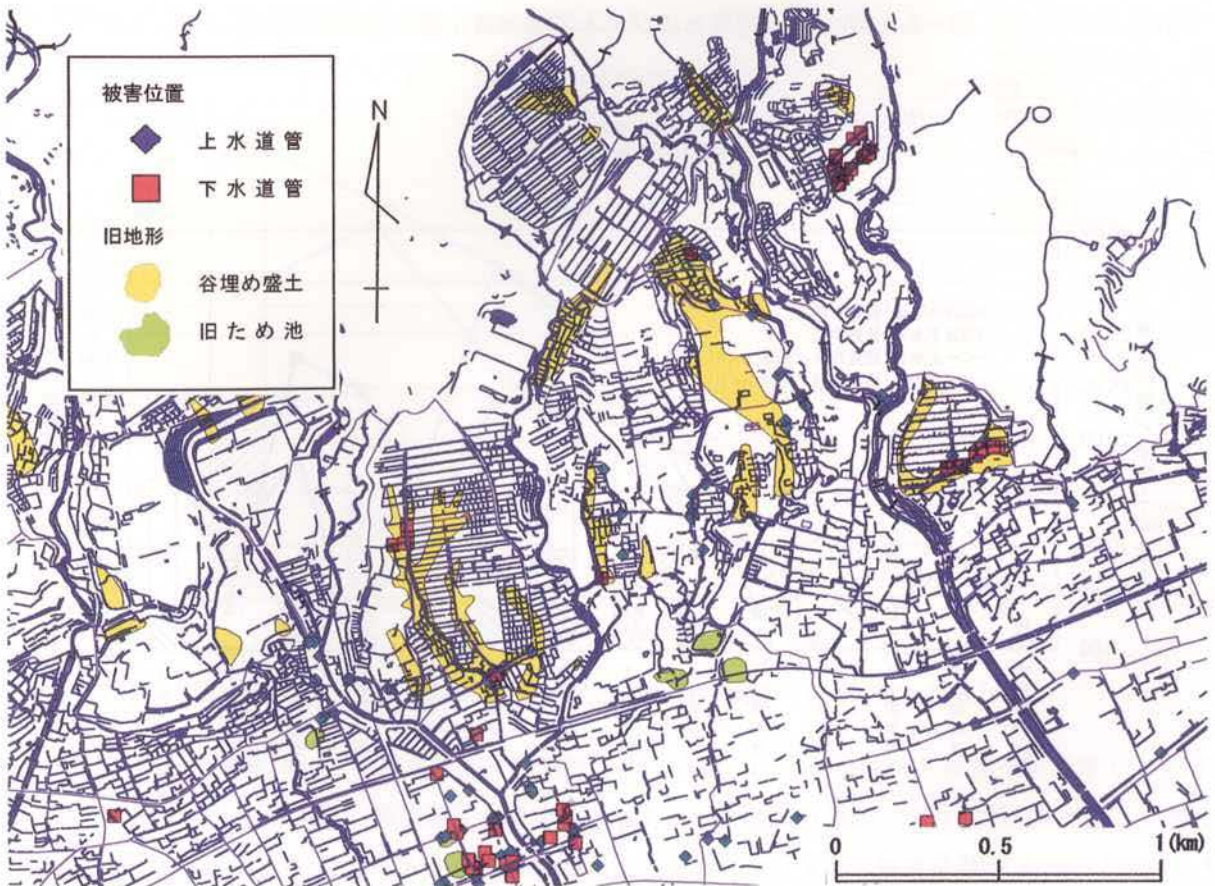


図-3.2.25 上水道管および下水道管被害位置と旧地形（東灘区北部）

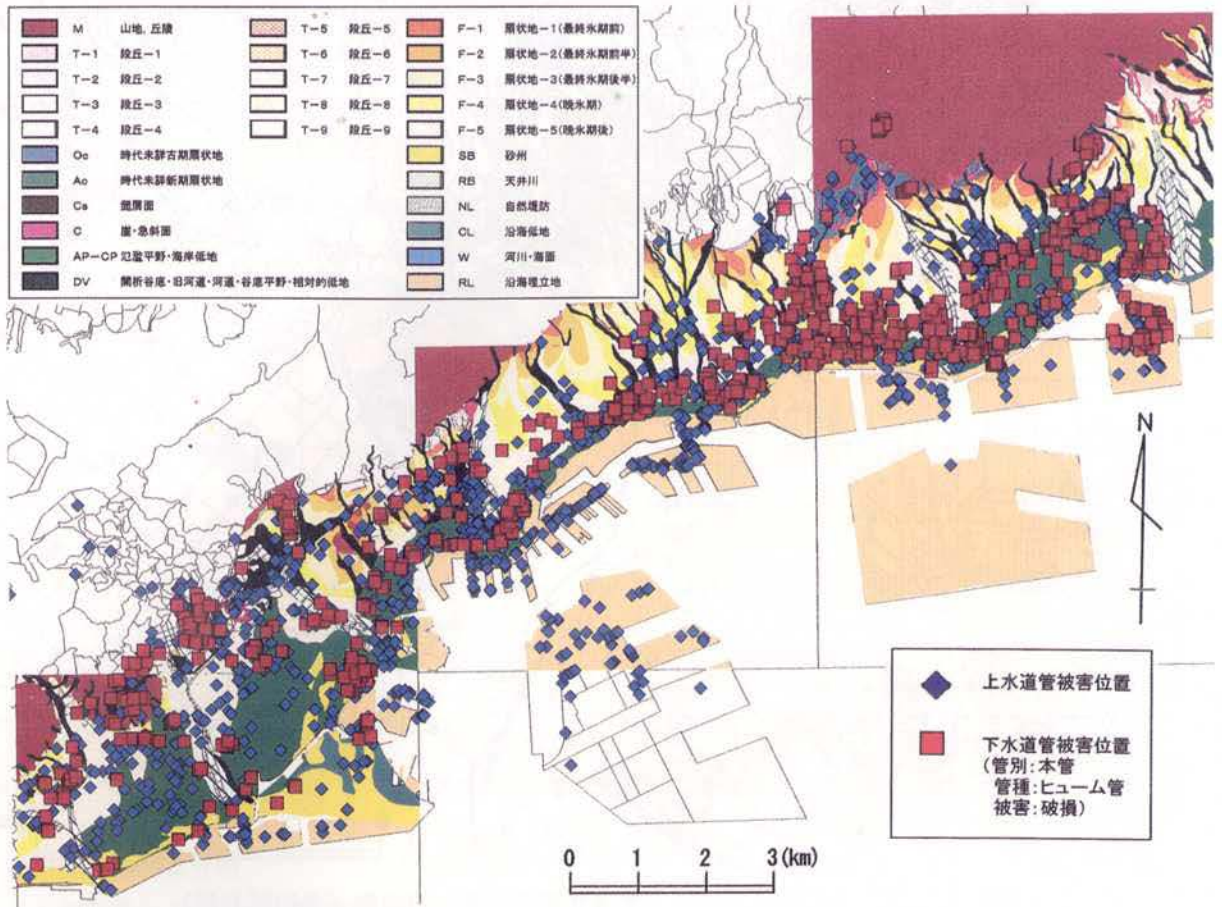


図-3.2.26 上水道管および下水道管被害位置と微地形区分図

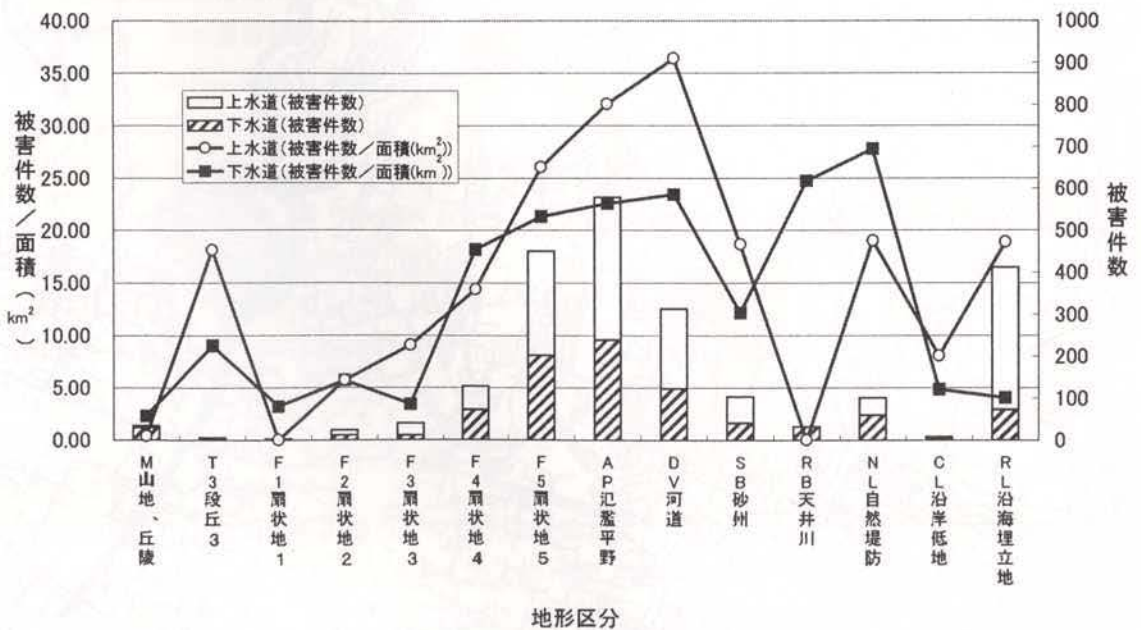


図-3.2.27 上下水道管被害と微地形区分

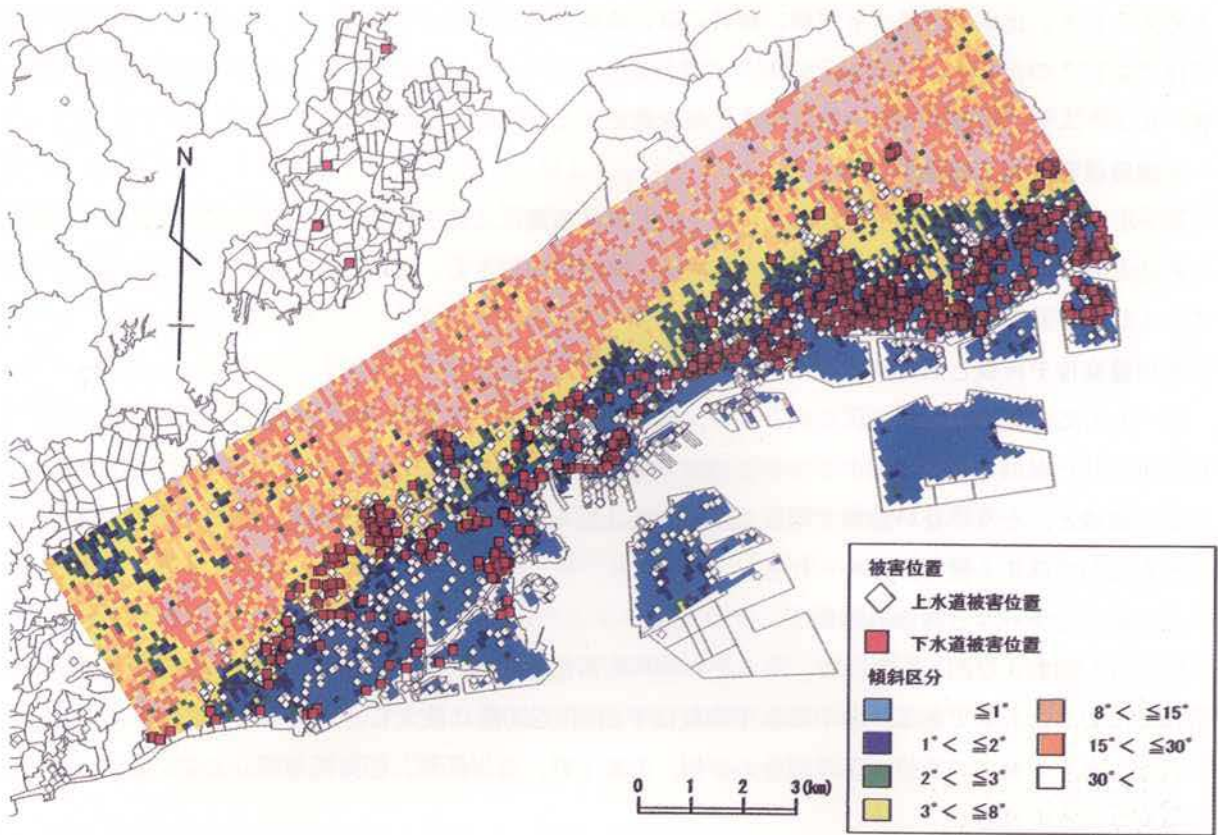


図-3.2.28 上水道管および下水道管被害位置と傾斜区分図

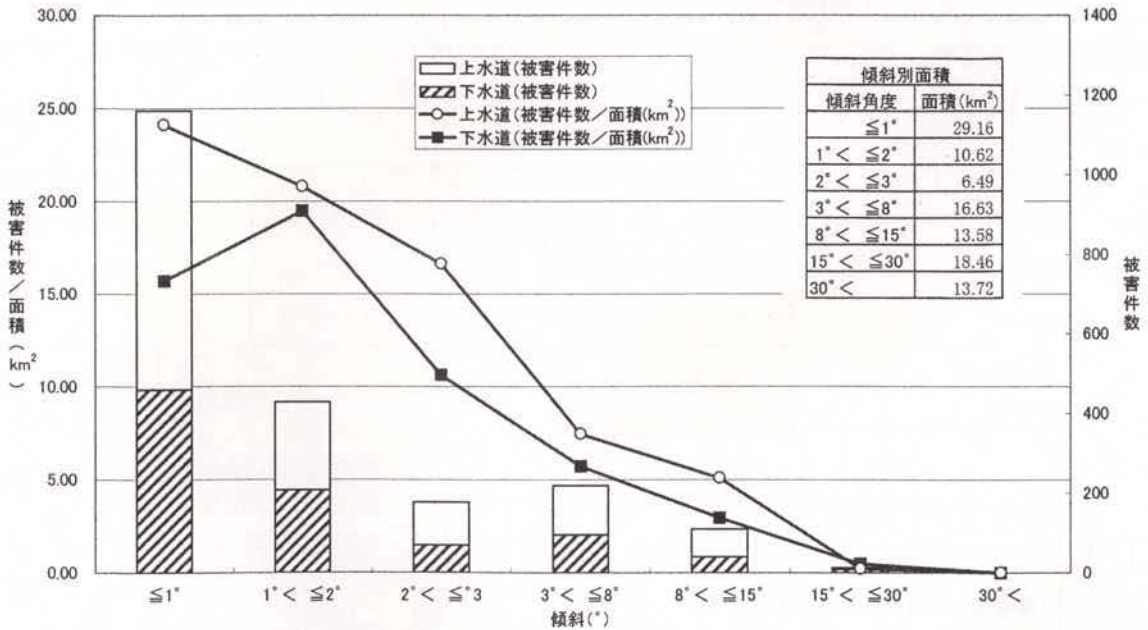


図-3.2.29 上下水道の被害状況と地表面の傾斜 (100m メッシュ)

図-3.2.29に示した通り、上・下水道管とも同様の傾向を示し、緩傾斜地ほど被害件数が多い、 1° 以下のエリアが最も多い。これは、敷設延長が長いこともあるが、緩傾斜地に、より耐震強度の低い沖積層が分布しているため、地盤の変形も大きかったためと考えられる。また、被害件数が $2^\circ \sim 3^\circ$ のエリアよりも $3^\circ \sim 8^\circ$ のエリアで多くなっているが、これは、長田区北部での盛土域の被害を表わしているもの

と考えられる。比率的に見ても同様に傾斜の緩い地域で比率が高くなっている。ただし、下水道管については“ $\leq 1^\circ$ ”の部分、“ $1^\circ < \leq 2^\circ$ ”の部分よりも低くなっているが、これは下水道管の検索条件（本管、ヒューム管、破損）に合う被害が人工埋立地で少なかったことが影響している。

④擁壁被害位置と旧地形

図-3.2.30は長田区北部を例として、図-3.2.31は東灘区北部を例として、擁壁被害位置と旧地形（旧ため池と谷埋め盛土地域）を重ねたものである。両方の地域とも、谷埋め盛土地域の擁壁に被害が集中している傾向が読みとれる。

⑤地盤変位データと旧地形

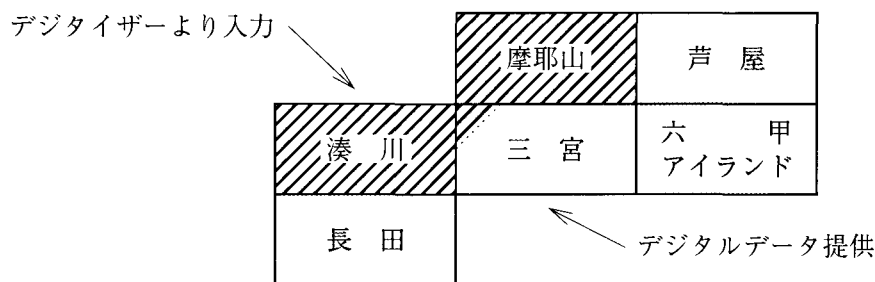
図-3.2.32は長田区北部地区を例として、地盤変位データと旧地形（旧ため池と谷埋め盛土地域）を重ねて出力したものである。図中で水平変位は平面図の200倍に拡大して示している。旧ため池地域と谷埋め盛土地域と、そうでない地域で明瞭な傾向の差は見られないが、谷埋め盛土の地域で谷の下部へ向かう水平変位が卓越する箇所が認められる。

⑥地盤変位データと微地形区分

図-3.2.33および図-3.2.34は、それぞれ神戸市西部と東部について地盤変位データと微地形区分図を重ねて出力したものである。図中で水平変位は平面図の200倍に拡大して示している。これらの図に示すとおり、埋立て地での変位や海岸部分の砂州、氾濫平野、海岸低地、沿海低地部分で変位量が大きいという傾向は読み取れる。

より詳細に分析するために図-3.2.35～図-3.2.36では、国土地理院1/10,000図幅毎に地盤変位データと微地形区分との関連を集計して示した。

図-3.2.35は下に示す各図幅について、鉛直変位量平均（上下方向を考慮しない絶対値の平均）、鉛直変位平均（隆起+、沈下-の値をそのまま集計した平均）、鉛直変位最大（+-考慮）、鉛直変位最小（+-考慮）、水平変位平均、総変位平均について地形区分との対応をヒストグラムにしたものである。



「芦屋」については、鉛直変位量はRL：埋立地がやや大きいですが、大きな差は見られない（T-1, F-1, Csについてはサンプル数が少ないため、参考にならない）。水平変位についても、RL：埋立地が卓越しているが他の傾向は見られない。

「六甲アイランド」では、RL：埋立地の鉛直変位量、水平変位量が特出しており、沈下量も大きい。

「摩耶山」では、M：山地、丘陵の部分と、DV：河床部分の変位が大きいですが、大差は見られない。

「三宮」では、RL：埋立地とSB：砂州の変位が卓越している。いずれも鉛直変位のうち、沈下が卓越している地層である。RL：埋立地では鉛直変位と水平変位とも卓越しているが、SB：砂州では水平変位は小さい。

「湊川」では、鉛直変位量については大きな差は見られない。水平変位ではSB：砂州、CL：沿海低地

の地区が卓越している。

「長田」では、鉛直変位、水平変位とも RL：埋立地の変位が卓越している。

図-3.2.36は変位と地形区分の関係を全体に渡って集計したものである。鉛直変位量（絶対値）については大きな地形区分で見ると、RL：埋立地が卓越している。また、AP：海岸平野、CL：沿海低地、SB：砂州等の沿海地域が大きく、次いで扇状地、段丘の順になっている。さらに、M：山地、丘陵の変位も大きいことも特徴の1つである。鉛直変位平均については、RL：埋立地、AP：氾濫平野、CL：沿海低地、SB：砂州等の沿海部の地形要素では沈下が卓越しているのに対し、他の地形要素では隆起が卓越している。同様の地形要素である扇状地の中で比較すると、F-1からF-5に向かって、換言すれば新しい地形要素ほど変位が大きくなる傾向にある。

水平変位量についても同様の傾向にあり、RL：埋立地、AP：氾濫平野、CL：沿海低地、SB：砂州等の沿海地域、扇状地、段丘の順に小さくなる。ただし、M：山地、丘陵の変位は比較的大きい。

上記の通り、微地形区分と地震時の変形には、関連性があることが明らかに分かる。すなわち、鉛直変位量、水平変位量とも、RL：埋立地、AP、SB、CL等の沿海地域、扇状地、段丘の順に小さくなり、換言すれば新しく形成された地盤ほど変形が大きくなる傾向にある。同一地形要素でも、扇状地で比較すると、新しい地形要素ほど変位は大きくなる傾向にある。M：山地、丘陵も比較的変位が大きいが、盛土された部分の変形を示している可能性がある。

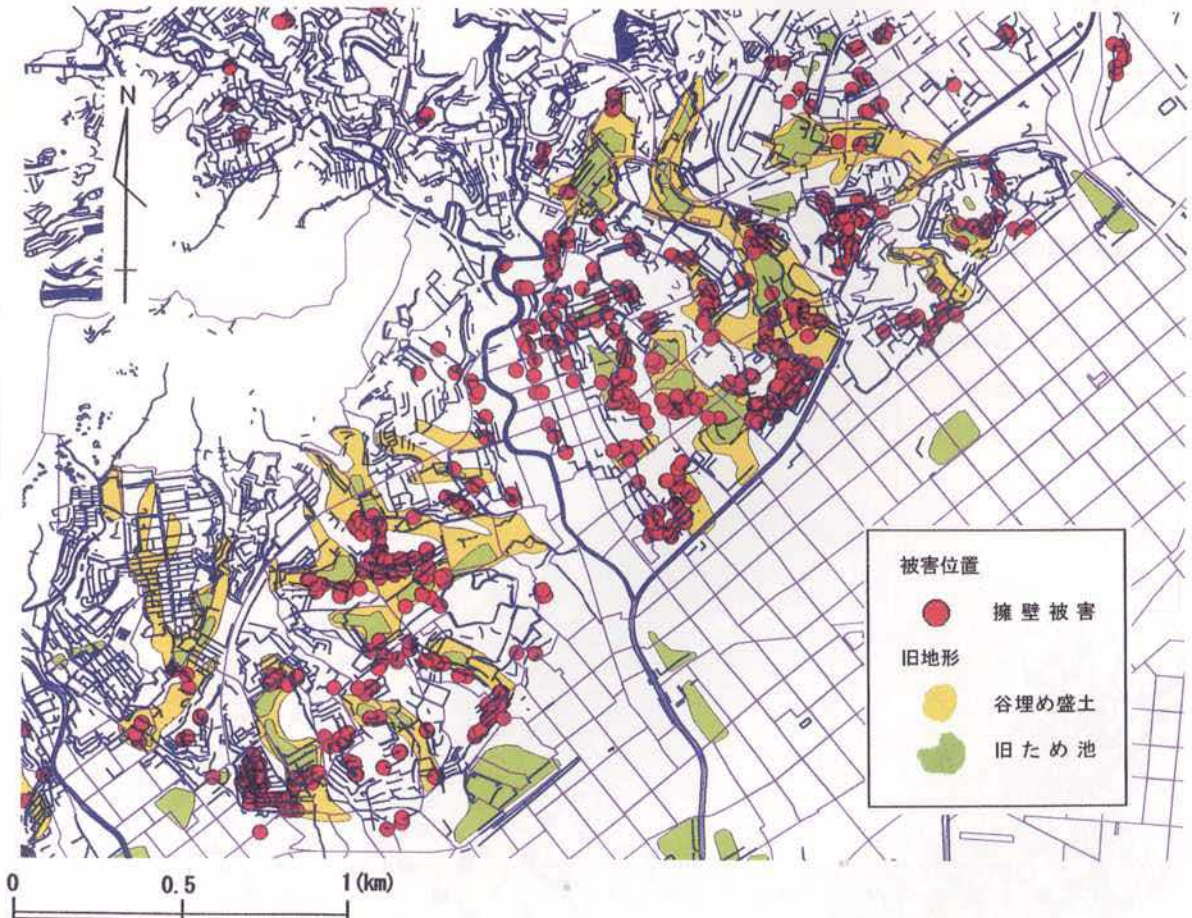


図-3.2.30 擁壁被害位置と旧地形（長田区北部）

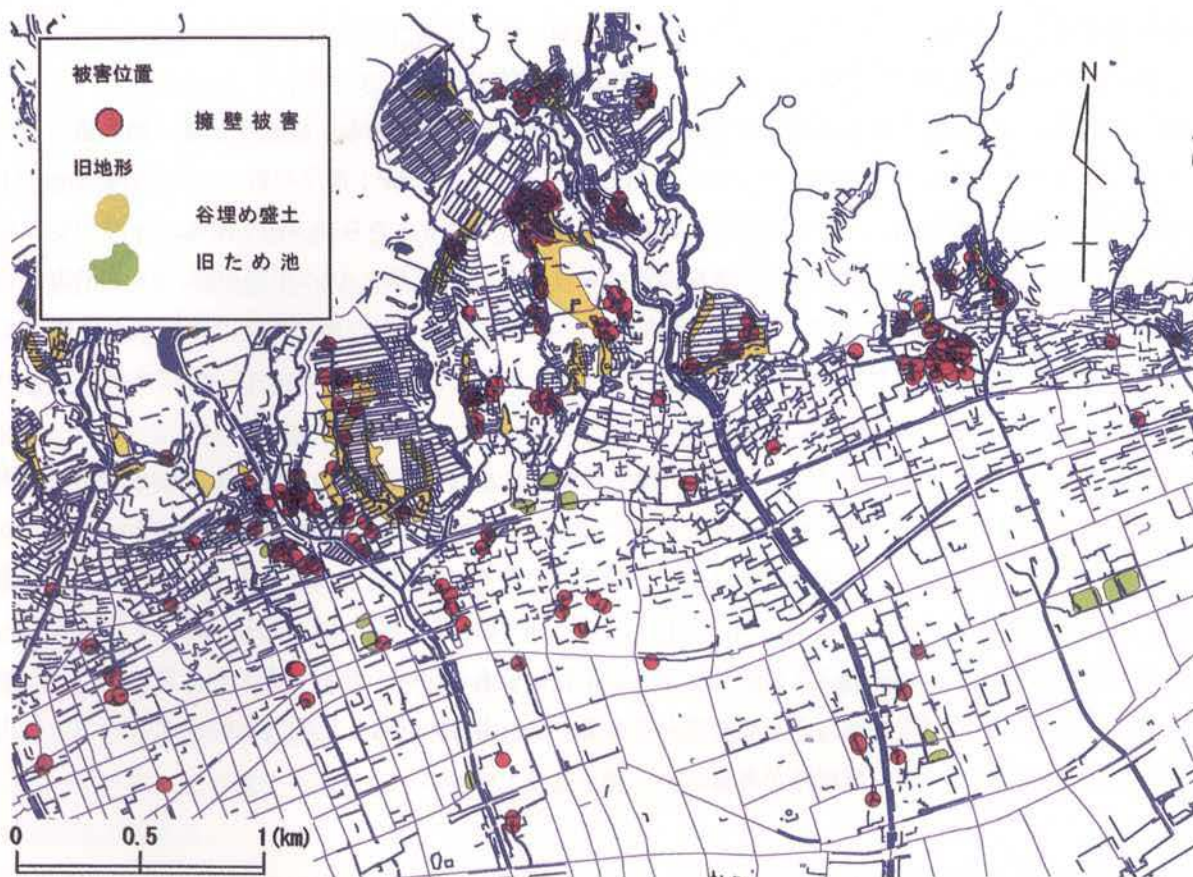


図-3.2.31 擁壁被害位置と旧地形（東灘区北部）

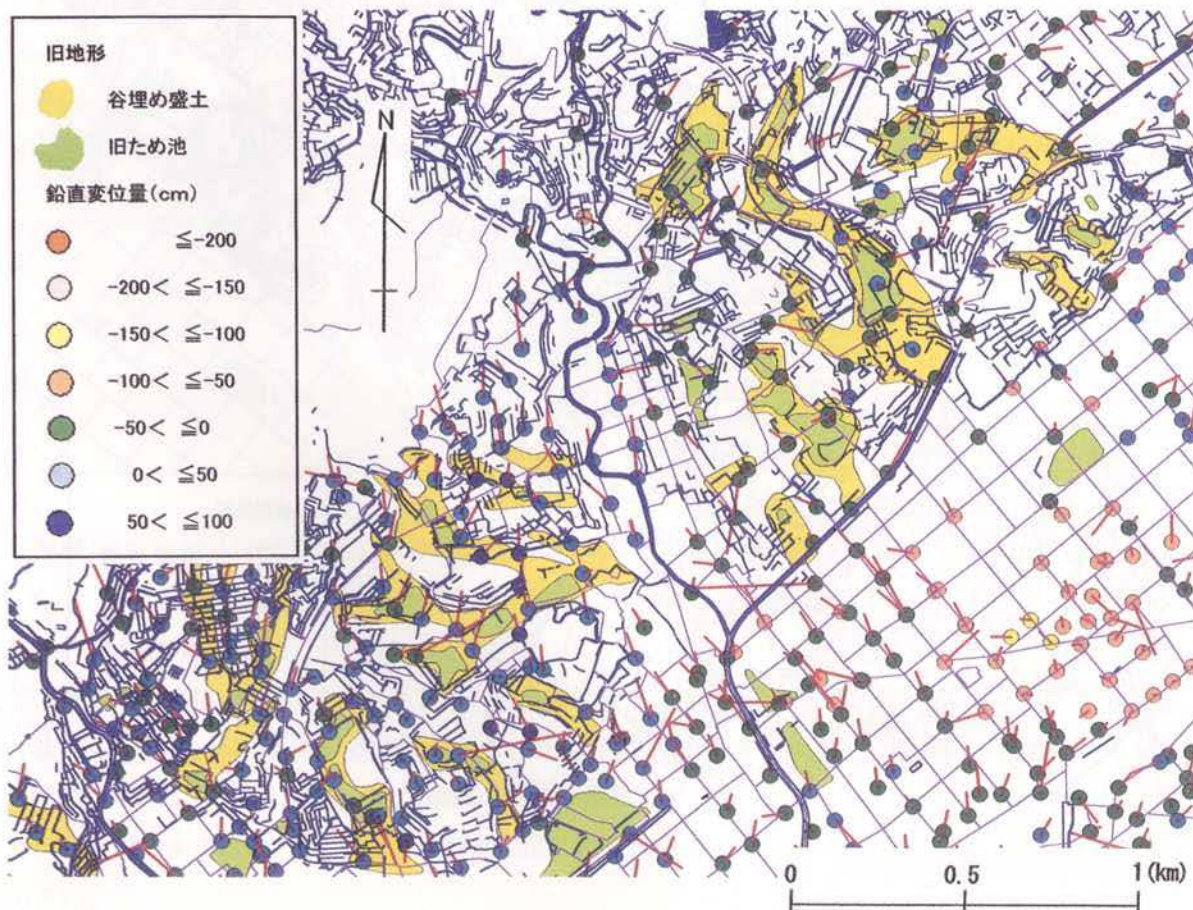


図-3.2.32 地盤変位と旧地形（長田区北部）



図-3.2.33 地盤変位と微地形区分図(神戸市西部)

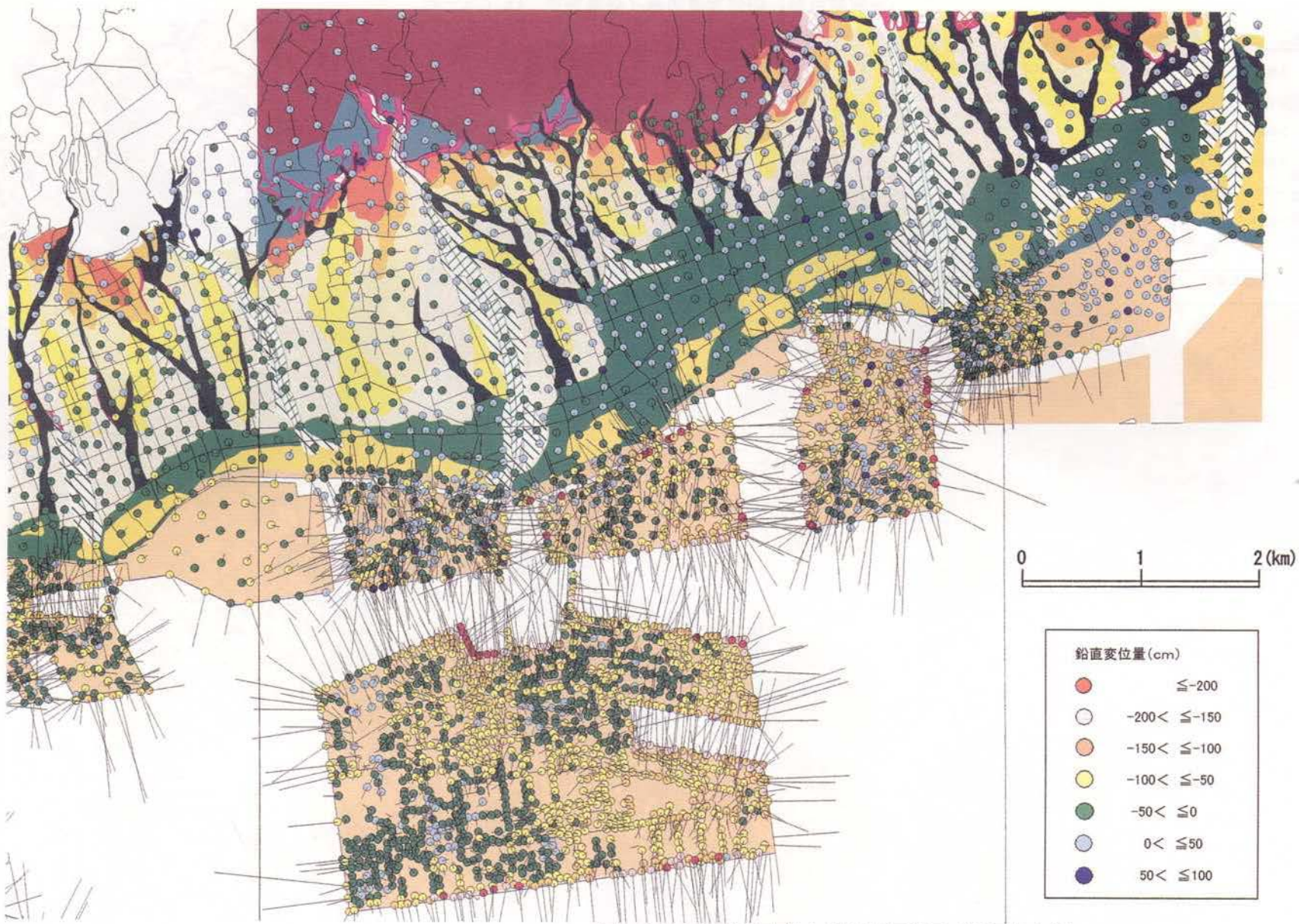


図-3.2.34 地盤変位と微地形区分図 (神戸市東部)

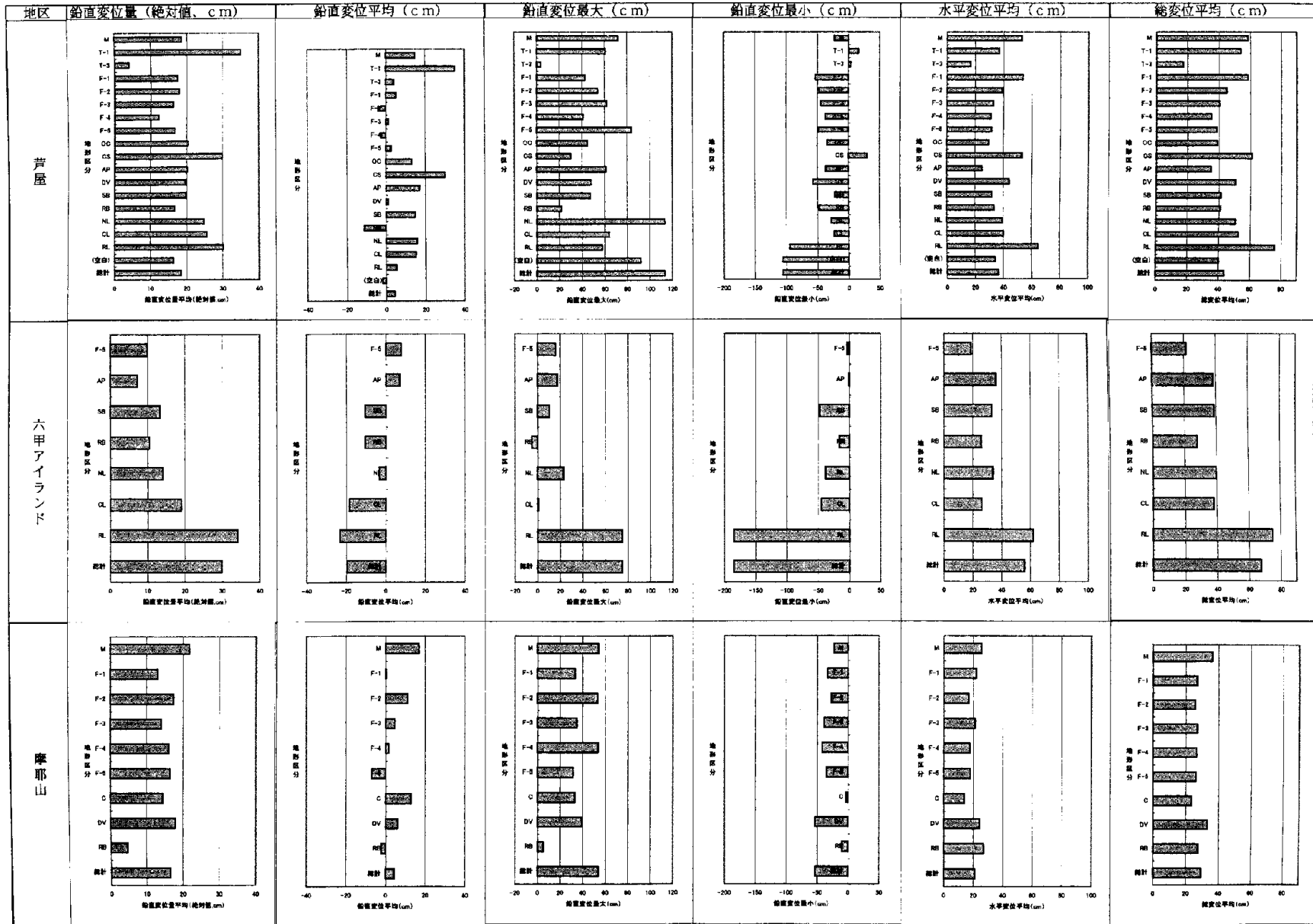


図-3.2.35(a) 地盤変位と微地形区分の関連分析

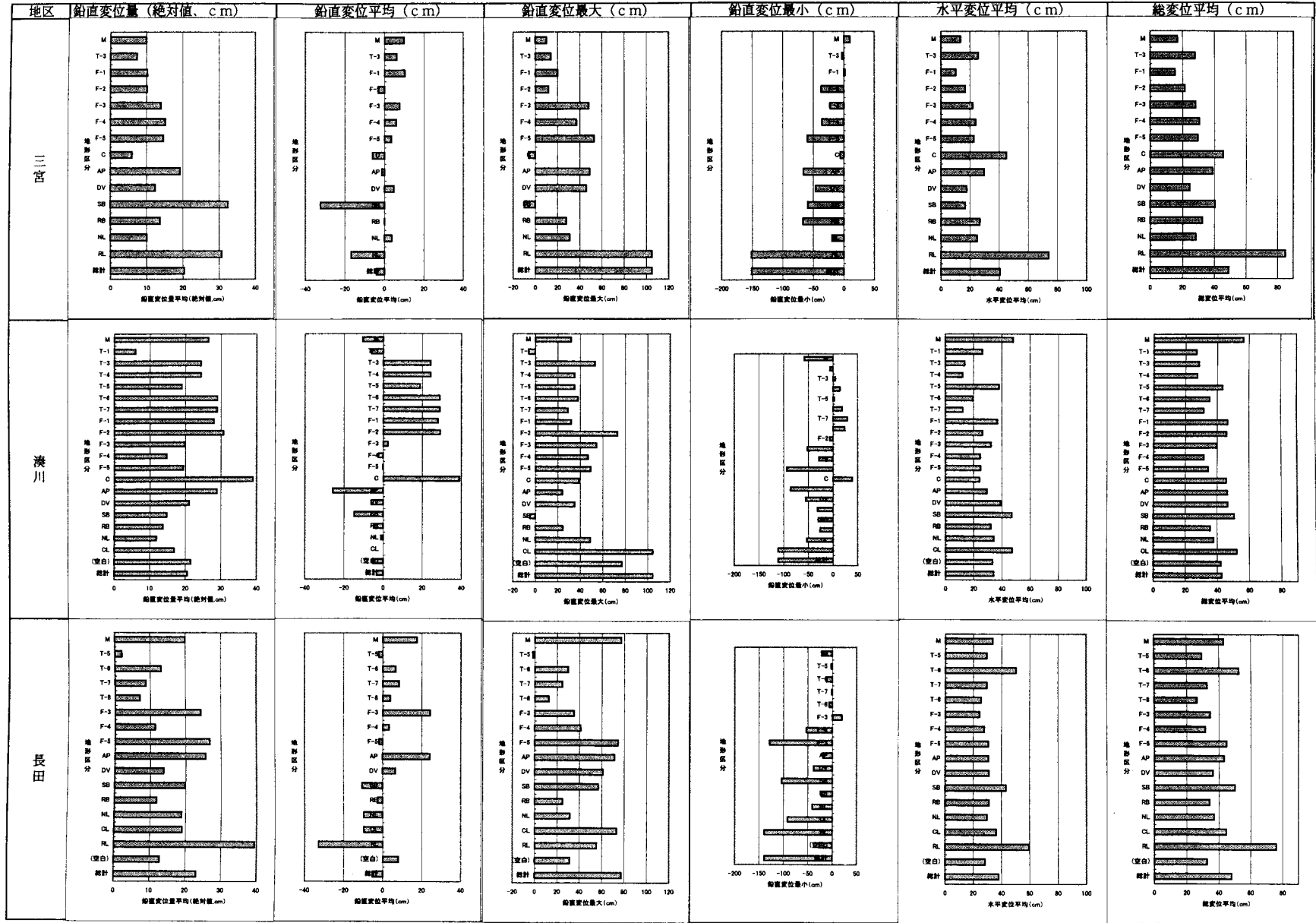


図-3.2.35(b) 地盤変位と微地形区分の関連分析

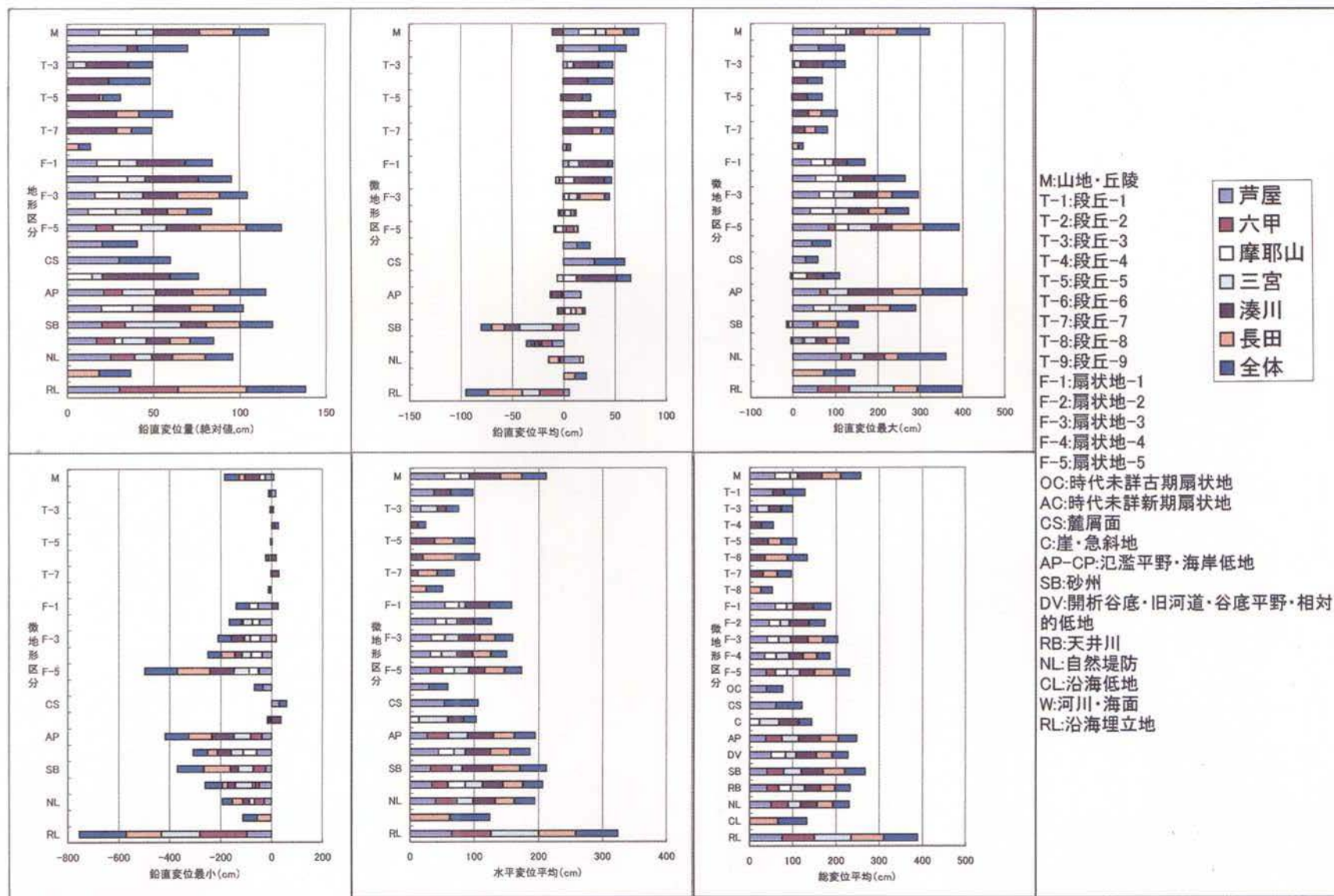


図-3.2.36 地盤変位と微地形区分の関連分析集計

(3)地質との関連分析

①上下水道管被害位置と地質平面図

図-3.2.37は上水道管，下水道管（污水管本管，ヒューム管，被害破損）の被害位置と地質平面図を重ねてプロットしたものである。

この図で明らかとなっており，被害は沖積層の分布域に集中して見られる。この傾向は建物被害と同様の傾向である。

図-3.2.38は被害件数と地質区分の関係をヒストグラム化したものである。

この図で明らかとなっており，被害位置は“Al：沖積層その他”で最も多く，次いで“Ss：海浜性砂層”の分布域で高くなっている。被害件数の面積比で見ても同様の傾向であるが，大阪層群の分布域でその値が大きくなっていることが特徴である。これは，長田区北部の丘陵地での被害の多さを表しているものである。

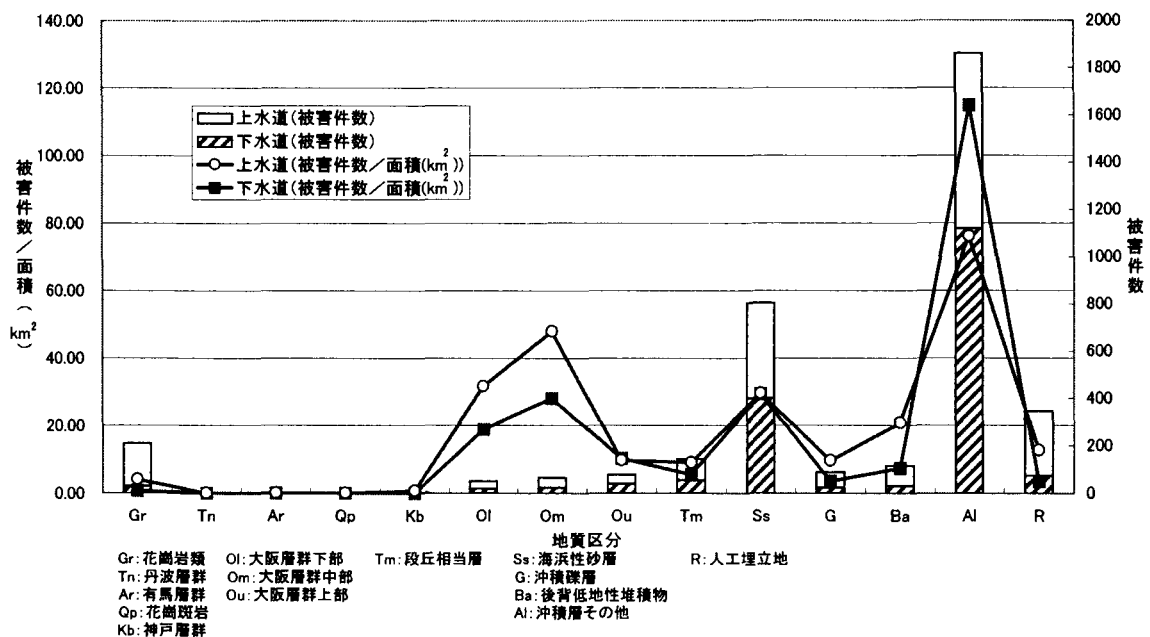


図-3.2.38 上下水道管の被害件数と地質区分

②地盤変位データと地質平面図

図-3.2.39, 40は地盤変位データと地質平面図を重ねてプロットしたものである。変位ベクトルのスケールは平面図のスケールの200倍に拡大している。神戸市西部，東部とも，人工埋立地の水平変位と沈下が目立っている。

図-3.2.41は地盤変位データと地質区分との関係をヒストグラム化したものである。

この図によれば鉛直変位は人工埋立地と沖積層の分布域で沈下が卓越しているのに対し，基盤岩分布域と大阪層群，段丘相当層の分布域では隆起が卓越していることがわかる。その理由としては地震時の地殻変動により山側が隆起し海側が沈降したことや，主に人工埋立地での液状化による地盤沈下の影響が考えられるが，この点に関しては他方面からの検討，例えば活断層の分布，地震動解析等からの検討が必要であると考えられる。水平方向の変位については，人工埋立地と沖積層の分布域で大きい。また，基盤岩の分布域においても比較的大きいが，これは分布域が傾斜の大きい地域であるために，斜面の変状や局所的な盛土の変状を示している可能性もある。

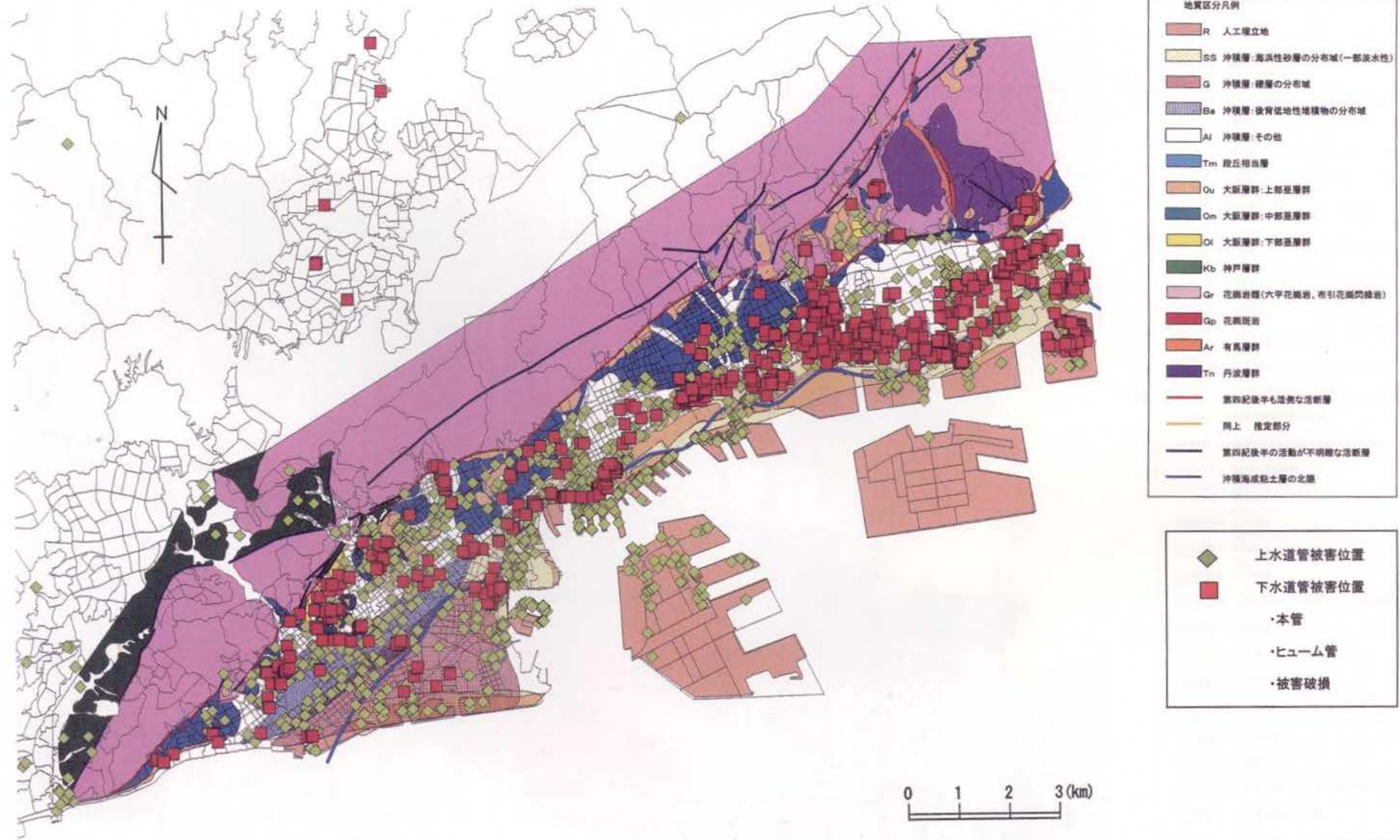


図-3.2.37 上下水道管の被害位置と地質平面図

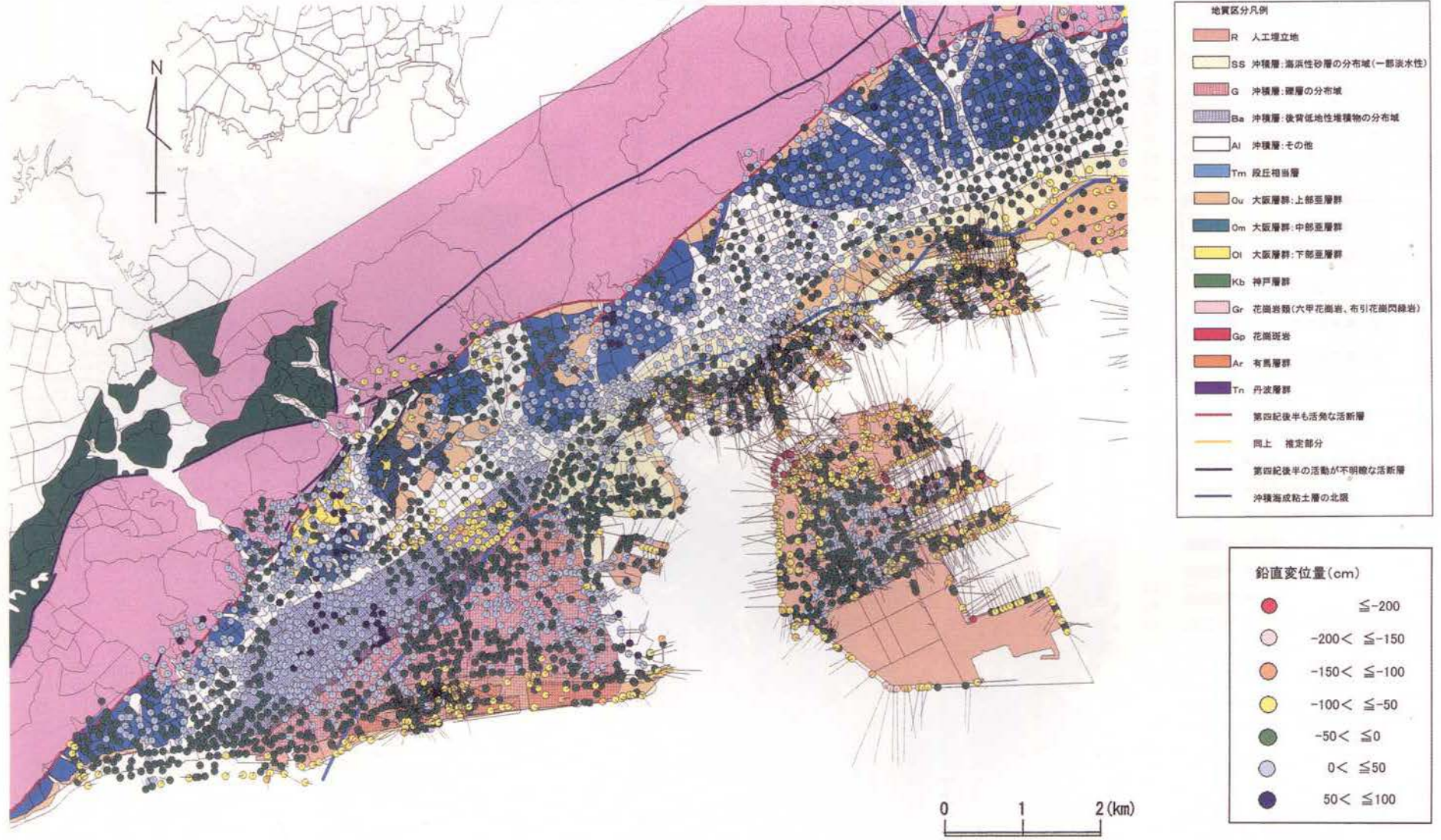


図-3.2.39 地盤変位データと地質平面図(神戸市西部)(変位は平面図の地図縮尺の200倍に拡大)

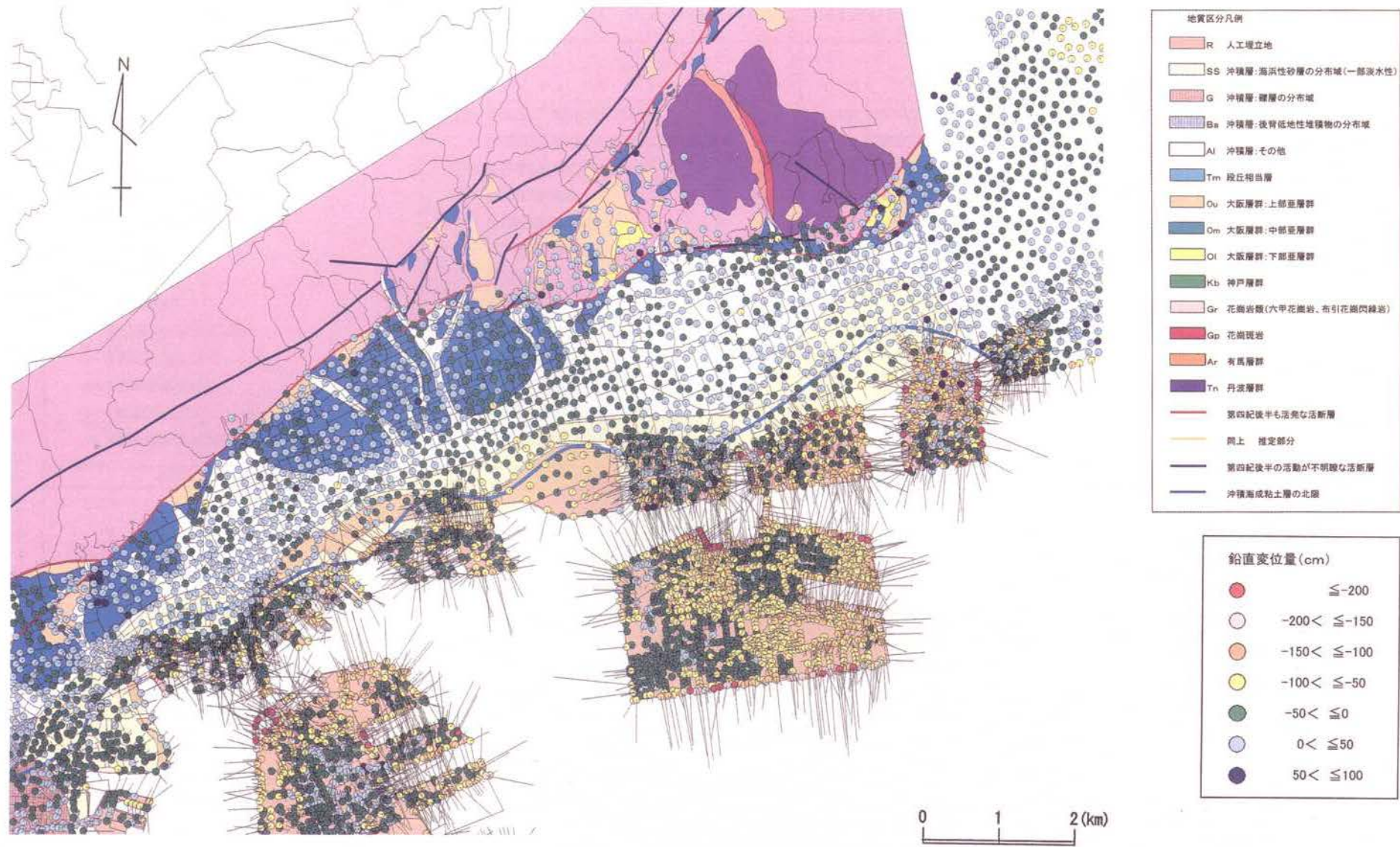
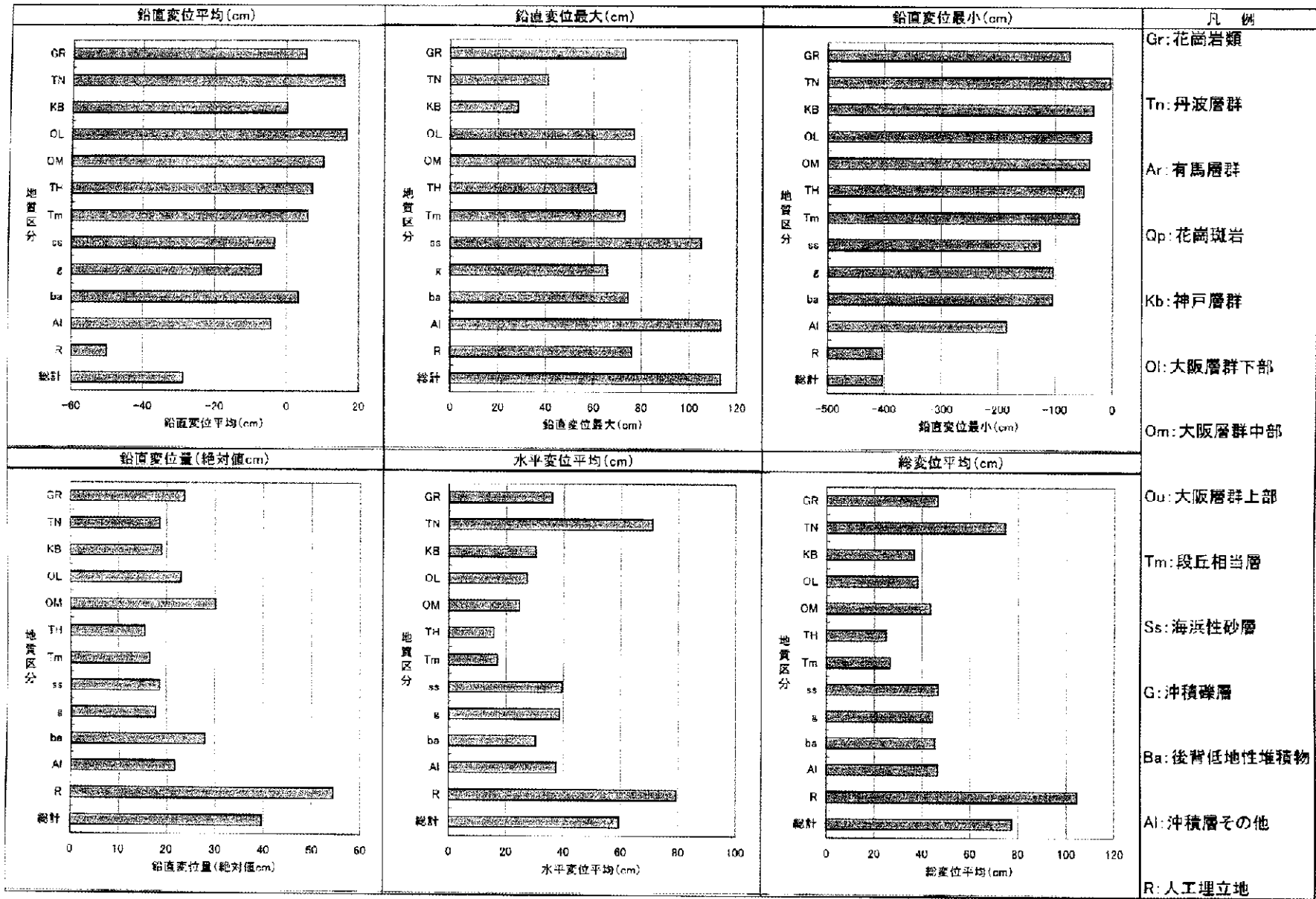


図-3.2.40 地盤変位データと地質平面図(神戸市東部)(変位は平面図の地図縮尺の200倍に拡大)



- 凡例
- Gr: 花崗岩類
 - Tn: 丹波層群
 - Ar: 有馬層群
 - Qp: 花崗斑岩
 - Kb: 神戸層群
 - Ol: 大阪層群下部
 - Om: 大阪層群中部
 - Ou: 大阪層群上部
 - Tm: 段丘相当層
 - Ss: 海浜性砂層
 - G: 沖積礫層
 - Ba: 後背低地性堆積物
 - Al: 沖積層その他
 - R: 人工埋立地

図-3.2.41 地盤変位と地質区分の関係分析

③上下水道管被害と地質断面図

図-3.2.42は上下水道管の被害位置（図上方の棒状分布，検索条件は図-3.2.25と同じ）と地質断面図を重ねたものである（断面位置については前掲の図-3.2.17を参照）。同図のうち，(1)～(4)は東灘区について示したものである。この地区では被害は沖積層が厚く堆積している箇所から急激に薄くなる箇所まで広がっていることがわかる。

(5)～(8)に示した灘区～中央区にかけての断面では被害は同様に沖積層の厚い地区から山麓部にかけて分布しているが，東灘区に比べて断続的になり，被害の程度が低いことを示している。これは建物被害の所で述べた通り，この地区の沖積層が礫層が主体となっていることと関連しているものと考えられる。

(9)～(12)の長田区～須磨区にかけても同様に沖積層の厚い地区と，そのやや山側の沖積層が急に薄くなる地区に被害が分布しているがその分布は断続的になる。和田岬周辺で海成の沖積粘土が分布している地域，長田区の山麓部で後背湿地性の沖積粘土が堆積している箇所に被害が集中していることが特徴的であり，地盤が軟弱な箇所に被害が集中していることがわかる。

④ 擁壁被害位置と地質平面図

図-3.2.43は擁壁の被害位置と地質平面図を重ねて出力したものである。この図で明らかとなり，擁壁被害は長田区から須磨区にかけての丘陵地で大阪層群の分布域と東灘区の花崗岩の分布域，さらに市街地山側に分布している段丘相当層の分布域に特徴的に見られる。なお，平野部には擁壁が分布しないため，海岸地域の沖積層の分布域には被害は見られない。

図-3.2.44は擁壁被害件数と地質区分の関係をグラフ化したものである。他の被害に比べ大阪層群，および段丘相当層の分布域で被害が大きいことが特徴的である。この傾向は被害件数の面積比で見るとさらに明らかになり，大阪層群の下部，中部で被害件数の面積比率は高くなっている。これは，長田区北部の丘陵地での擁壁被害の多さを反映したもので，盛土のり面等の斜面災害と関連あるものと考えられる。

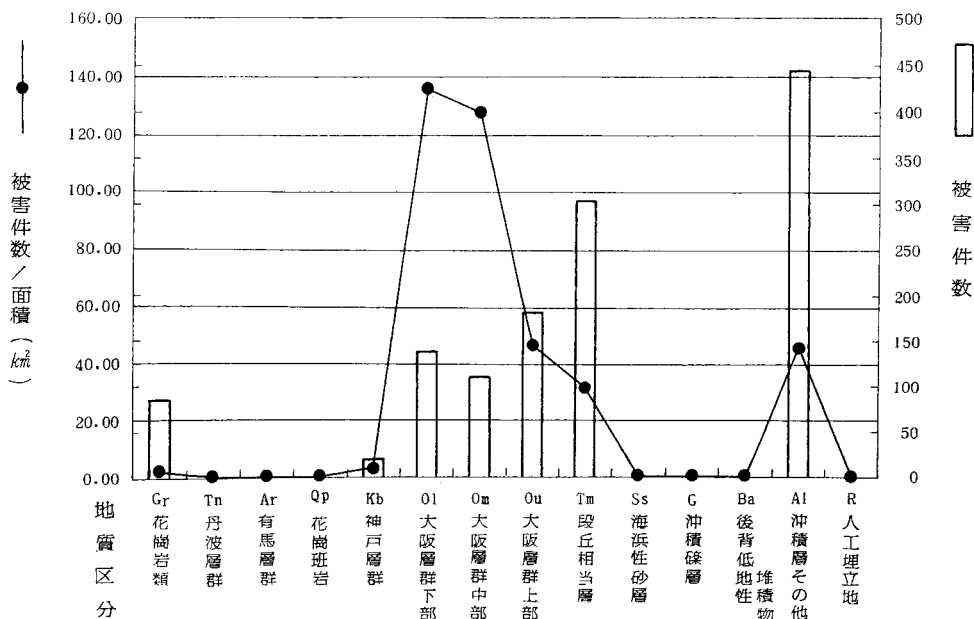


図-3.2.44 擁壁被害件数と地質区分

(1) 住吉川東部 1

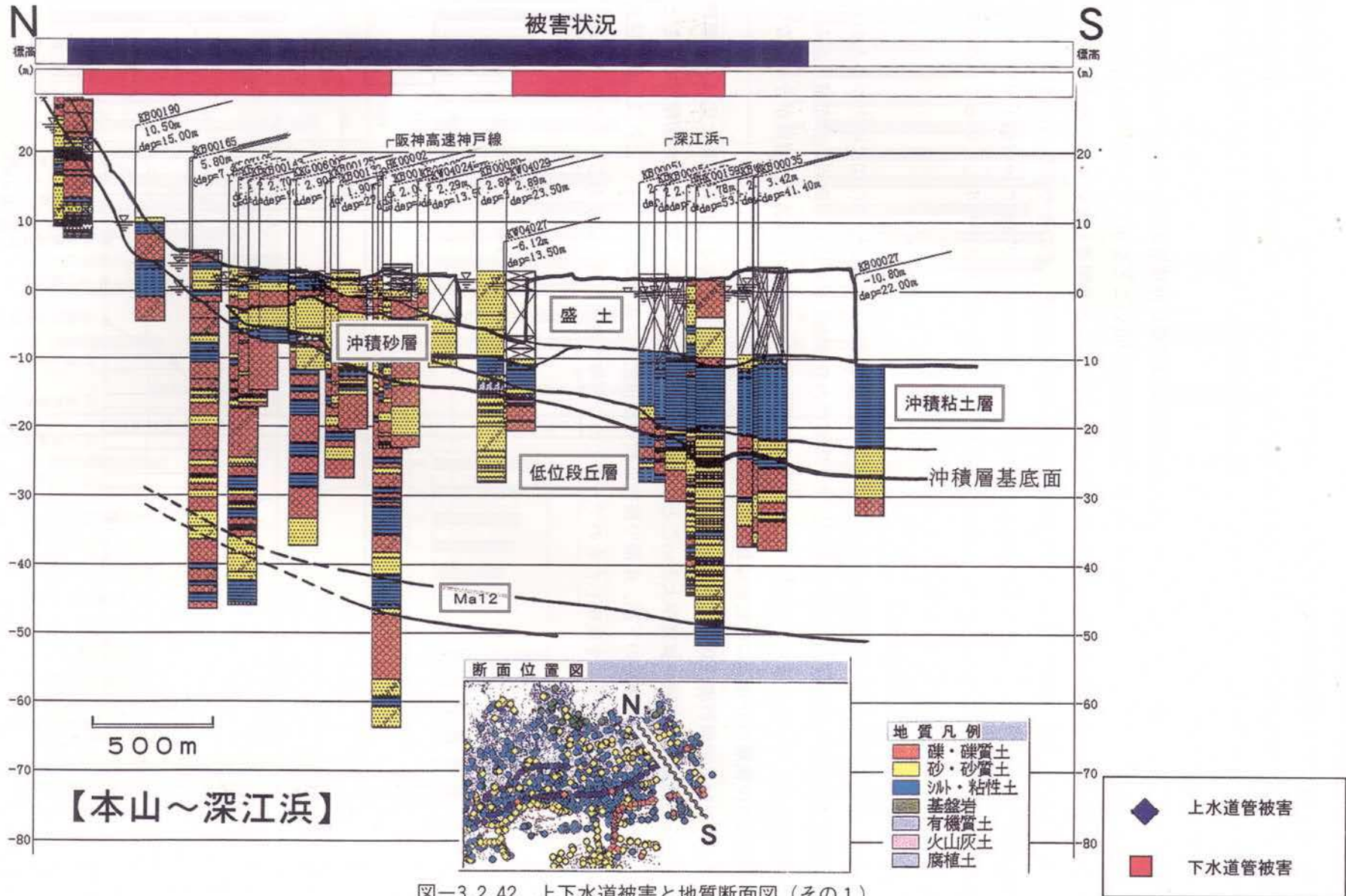


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その1)

(2) 住吉川東部 2

被害状況

【岡本～六甲アイランド東】

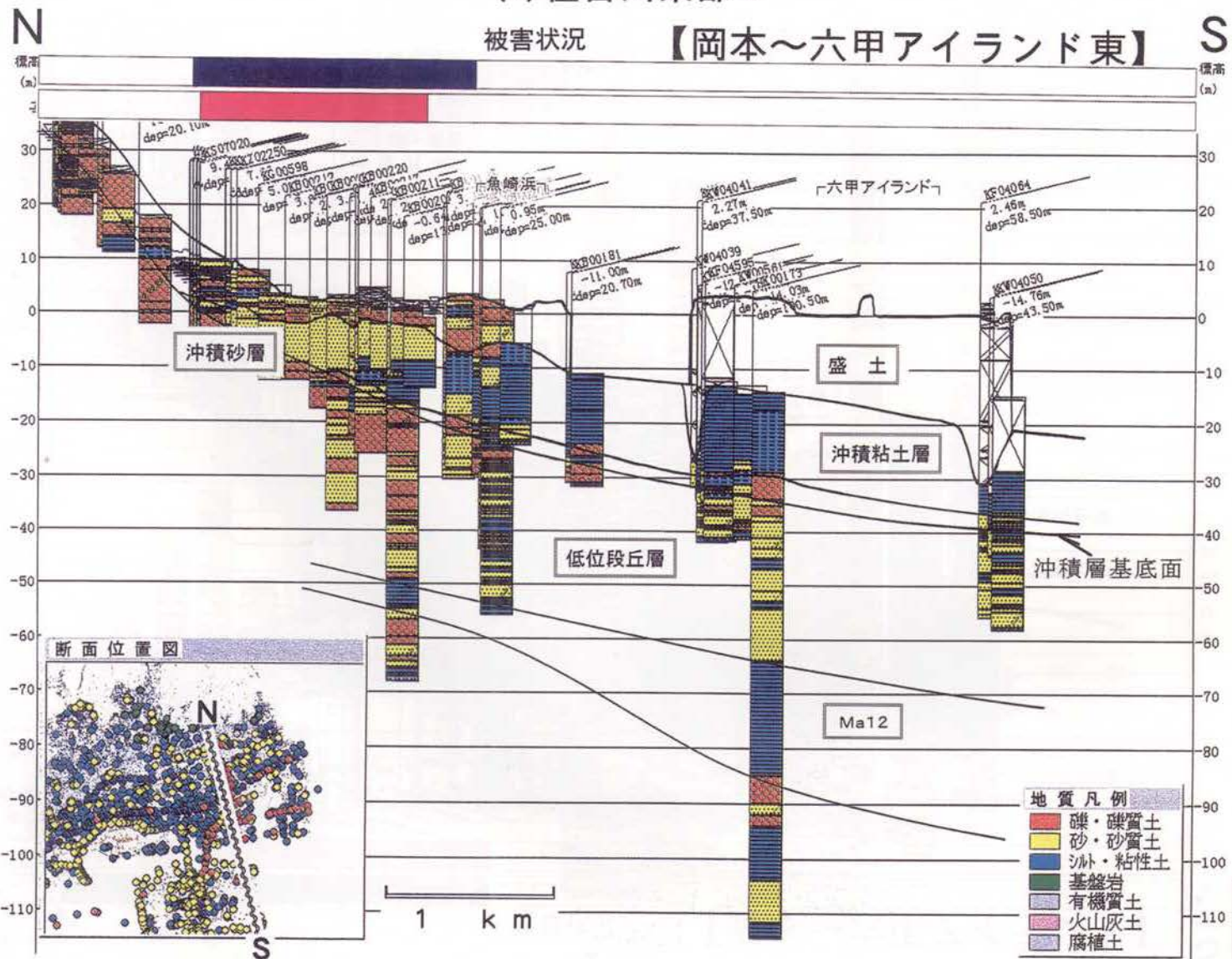


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その2)

(3) 住吉川東部 3

被害状況

【岡本～六甲アイランド】

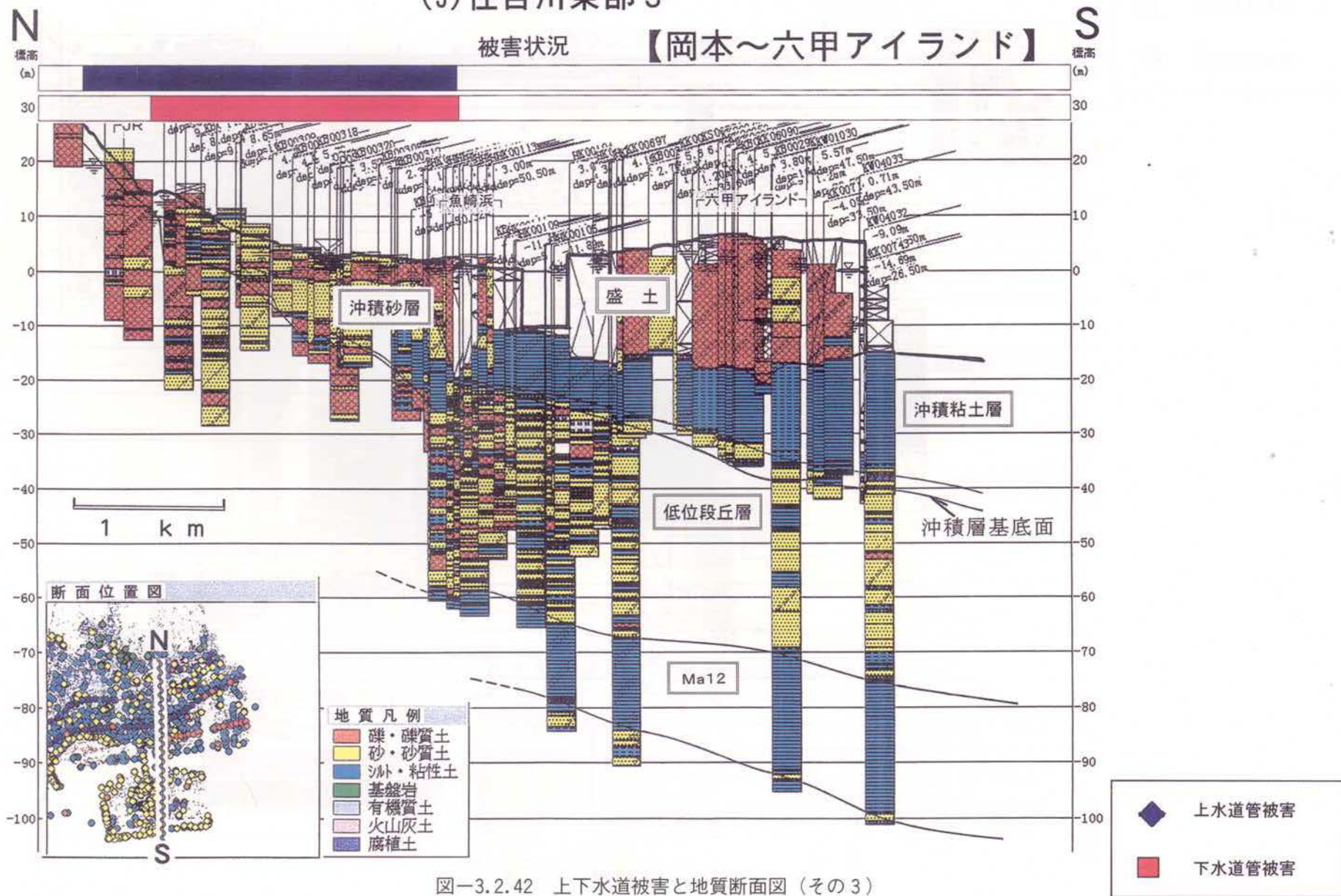


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その3)

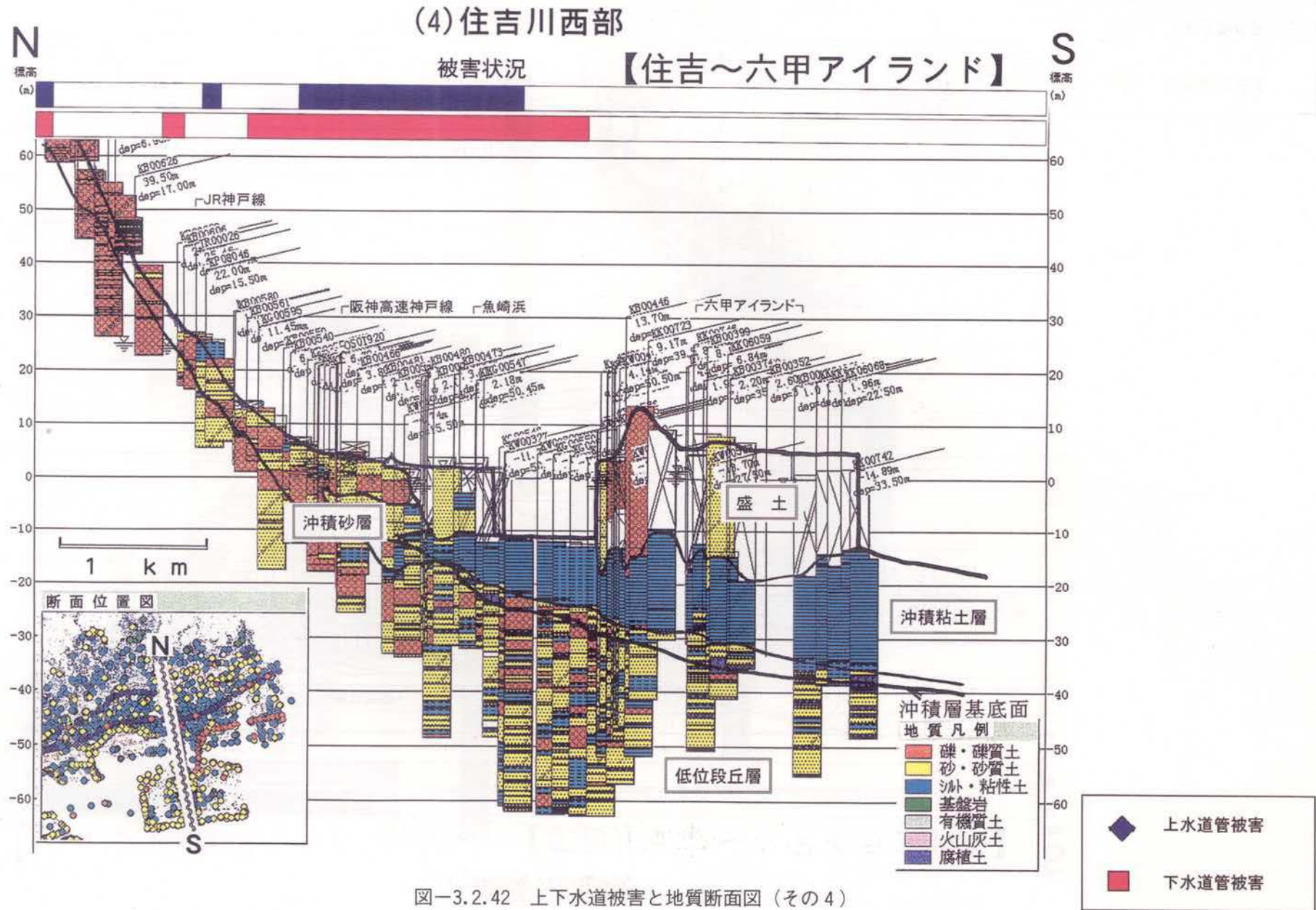


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その4)

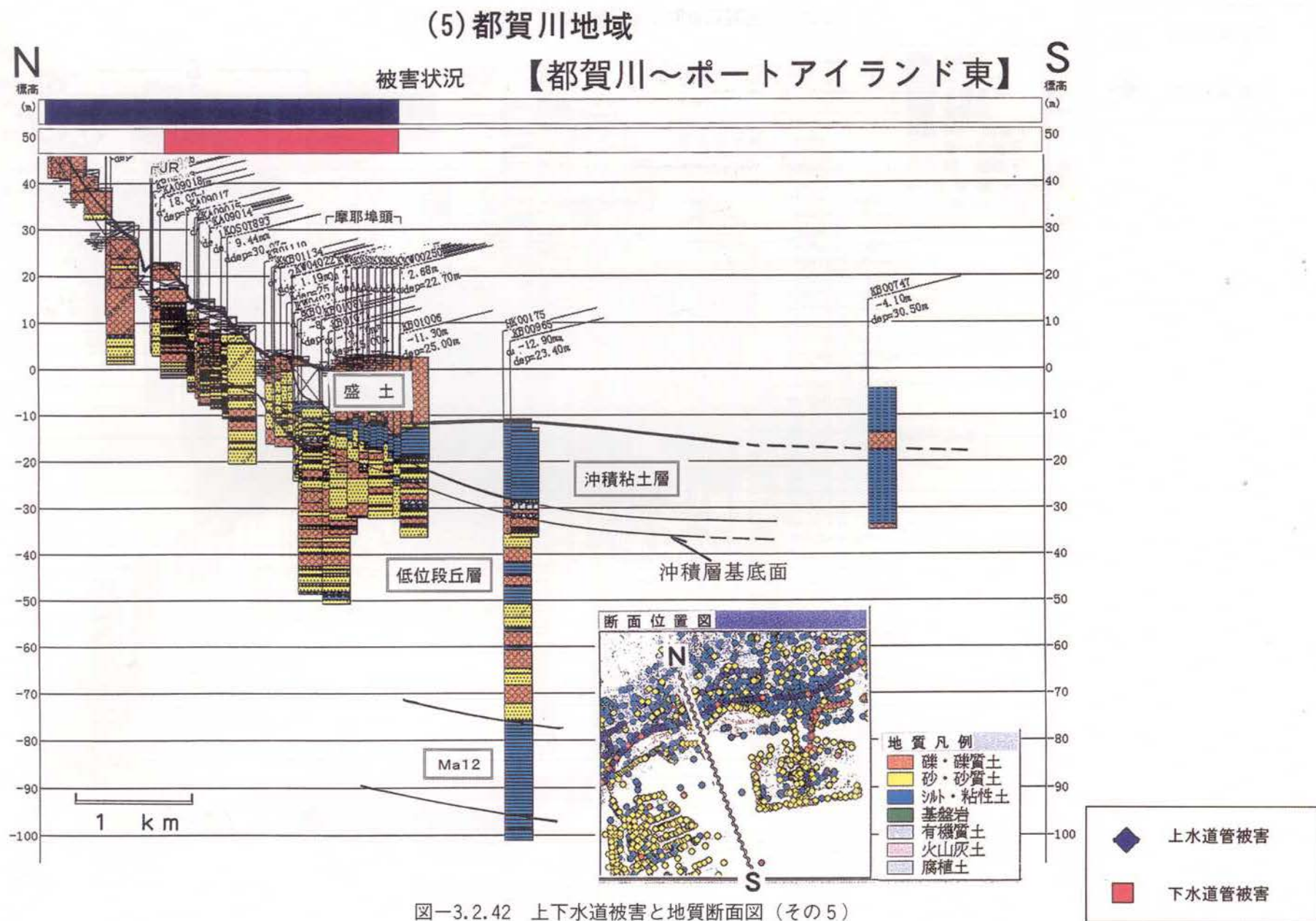


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その5)

(6) 摩耶埠頭～王子公園

被害状況

【王子～ポートアイランド南】

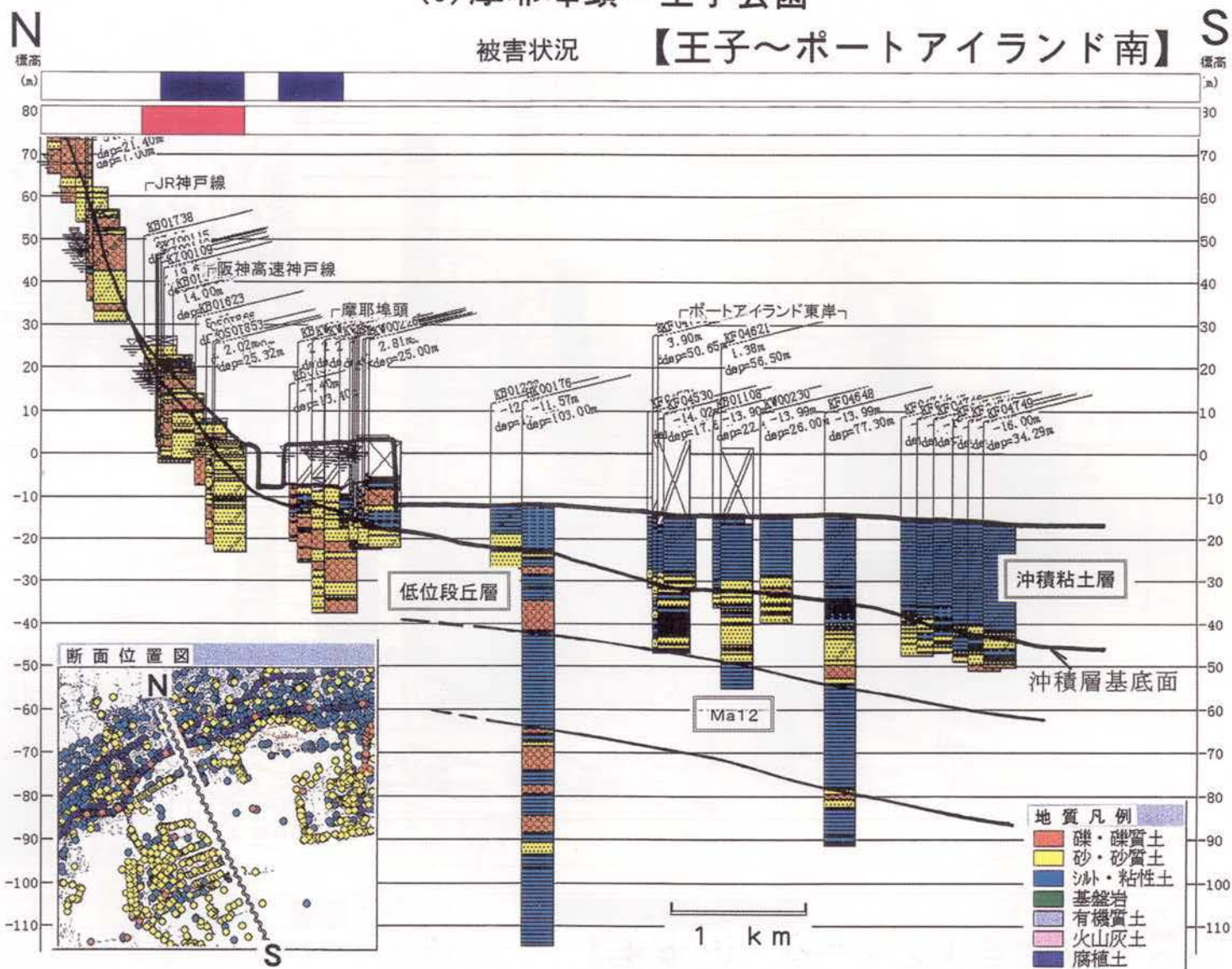


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その6)

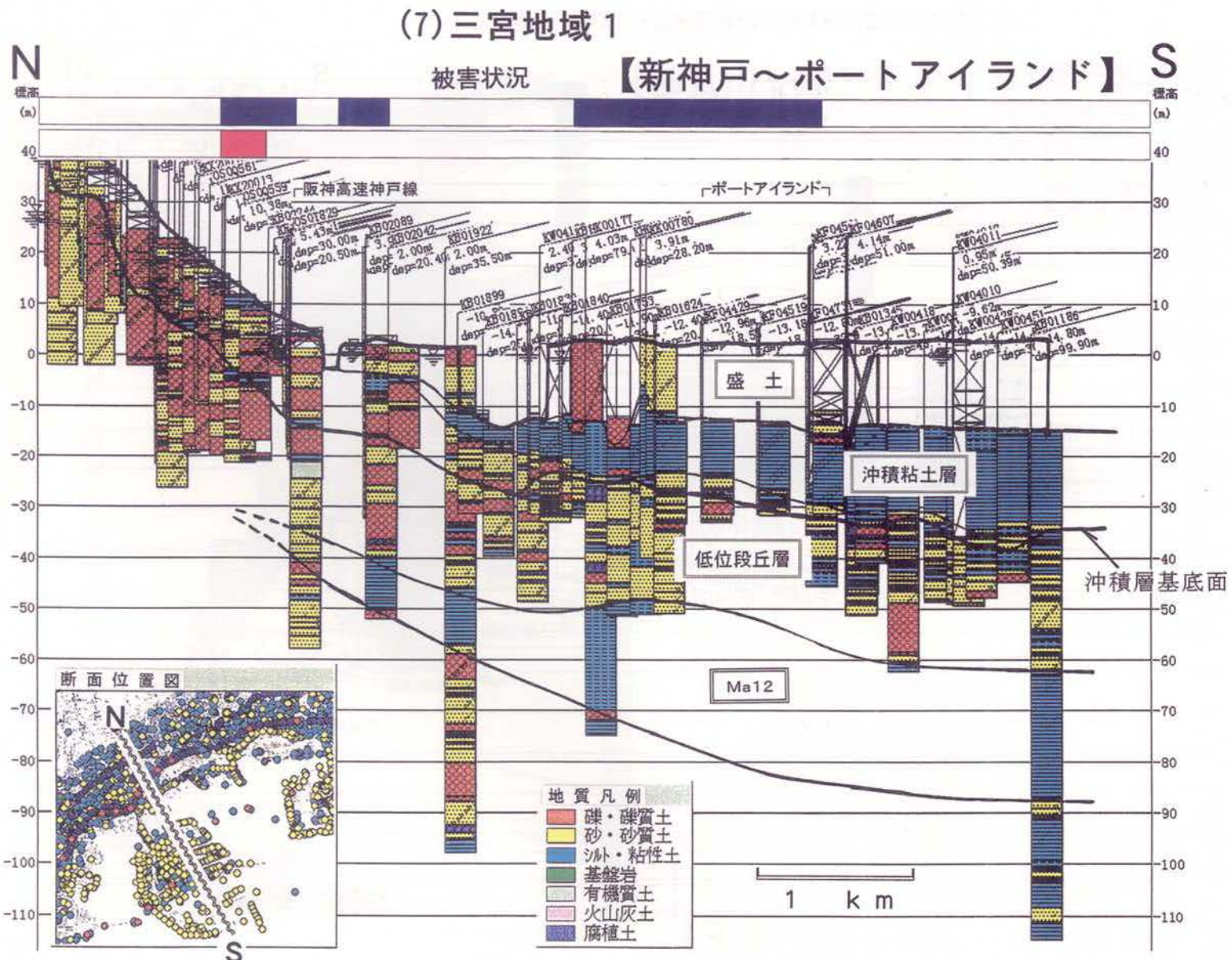


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その7)

(8) 三宮地域 2

被害状況 【三宮～ポートアイランド】

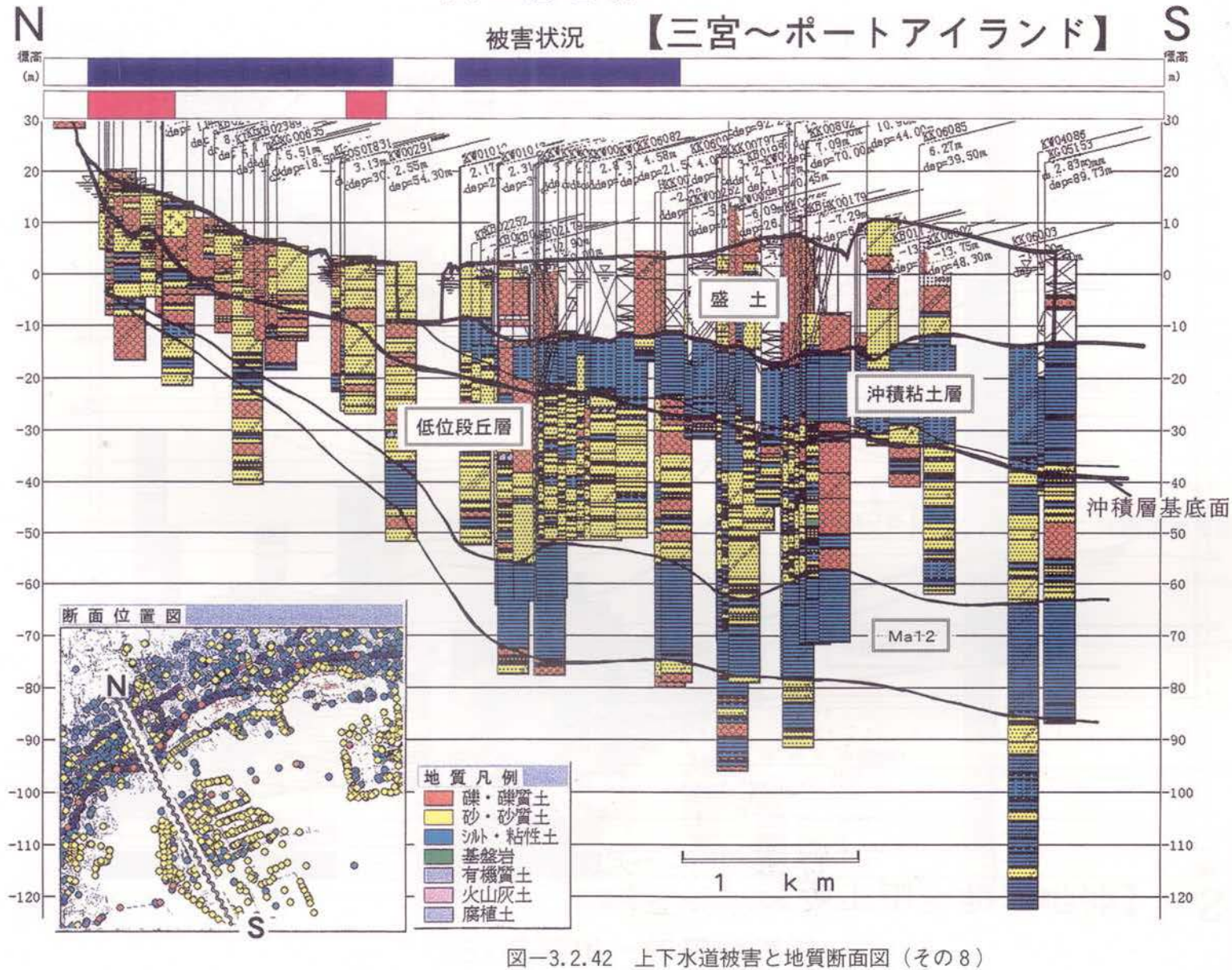


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その8)

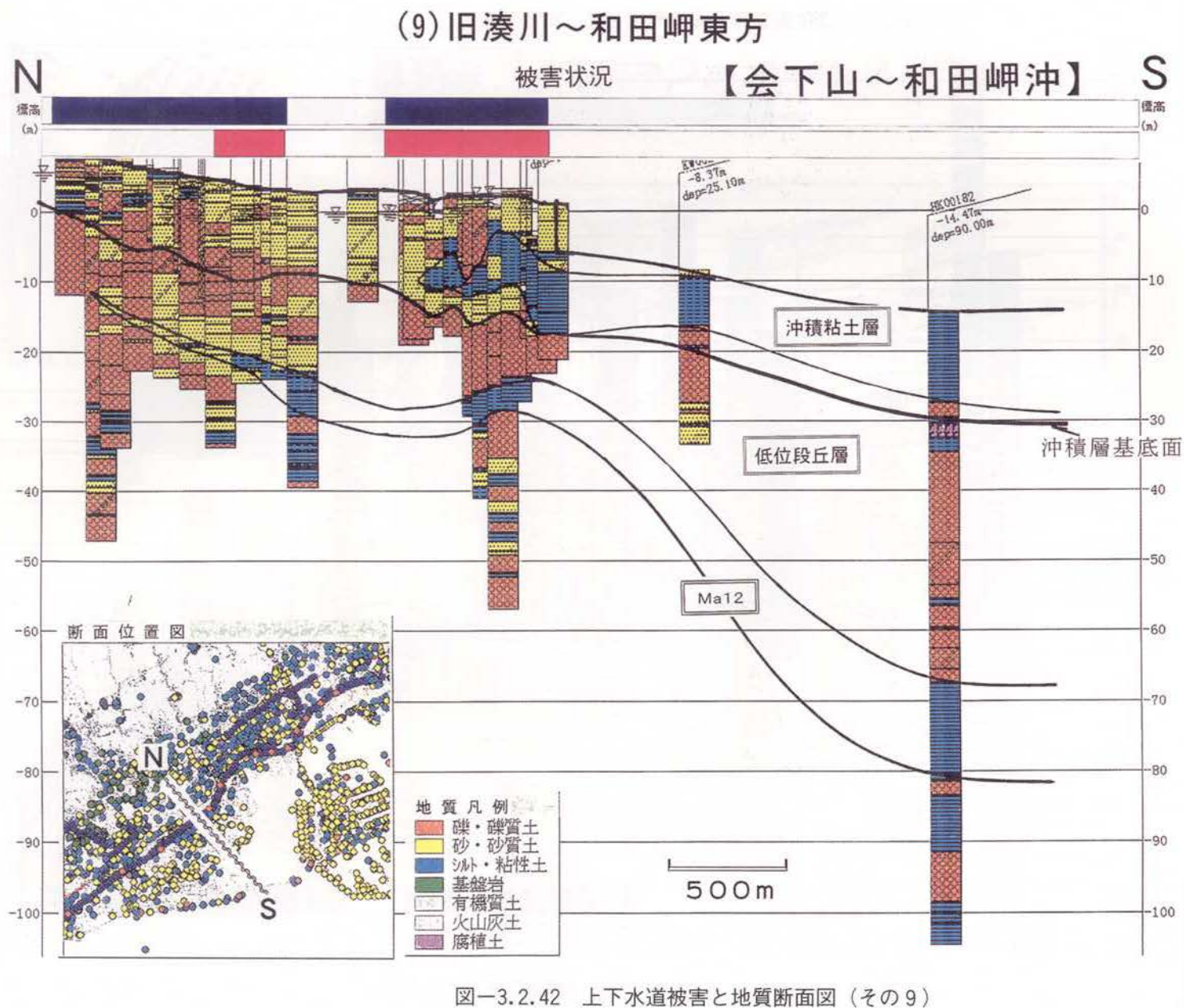


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その9)

(10) 長田～和田岬 1

被害状況

【会下山～和田岬】

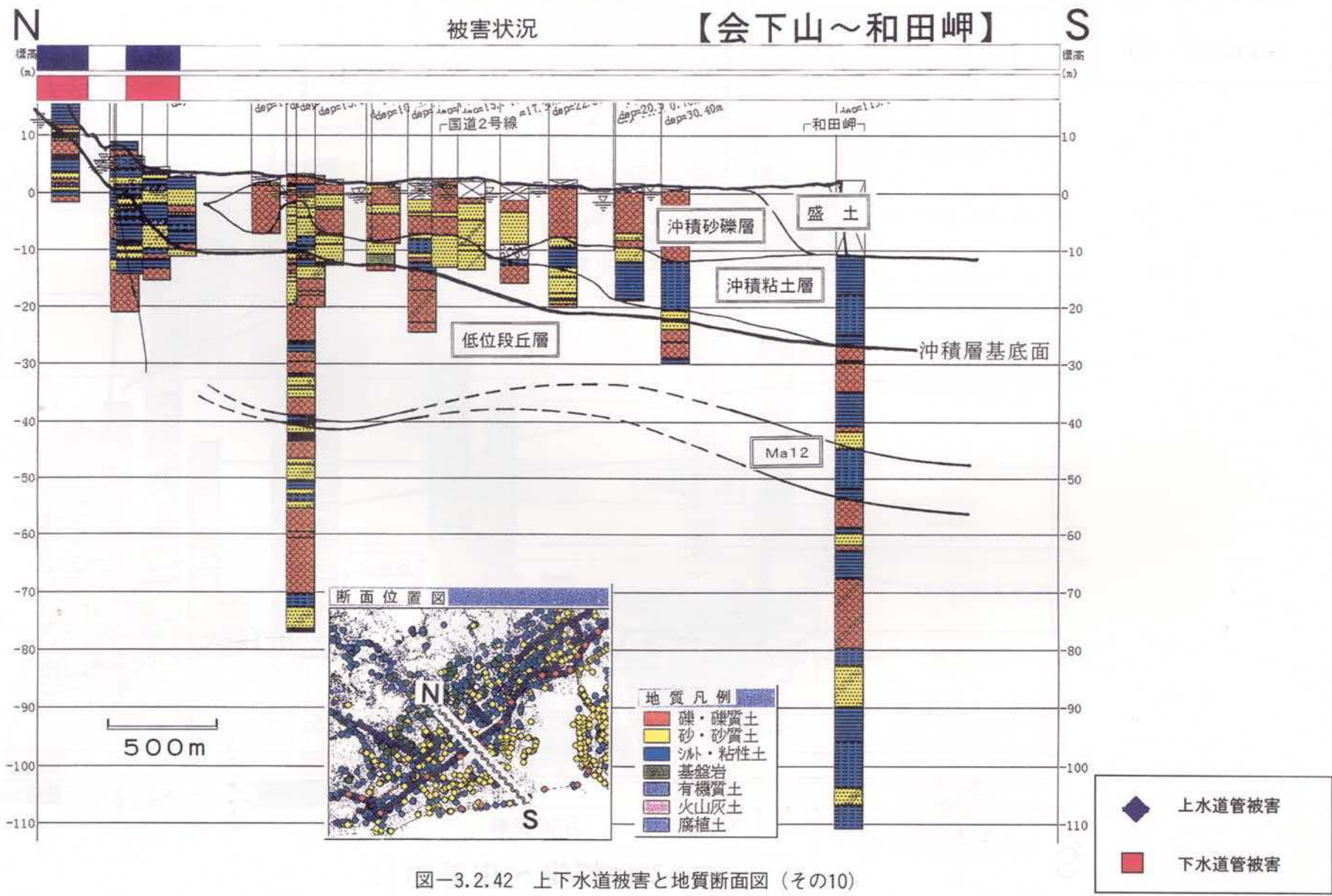


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その10)

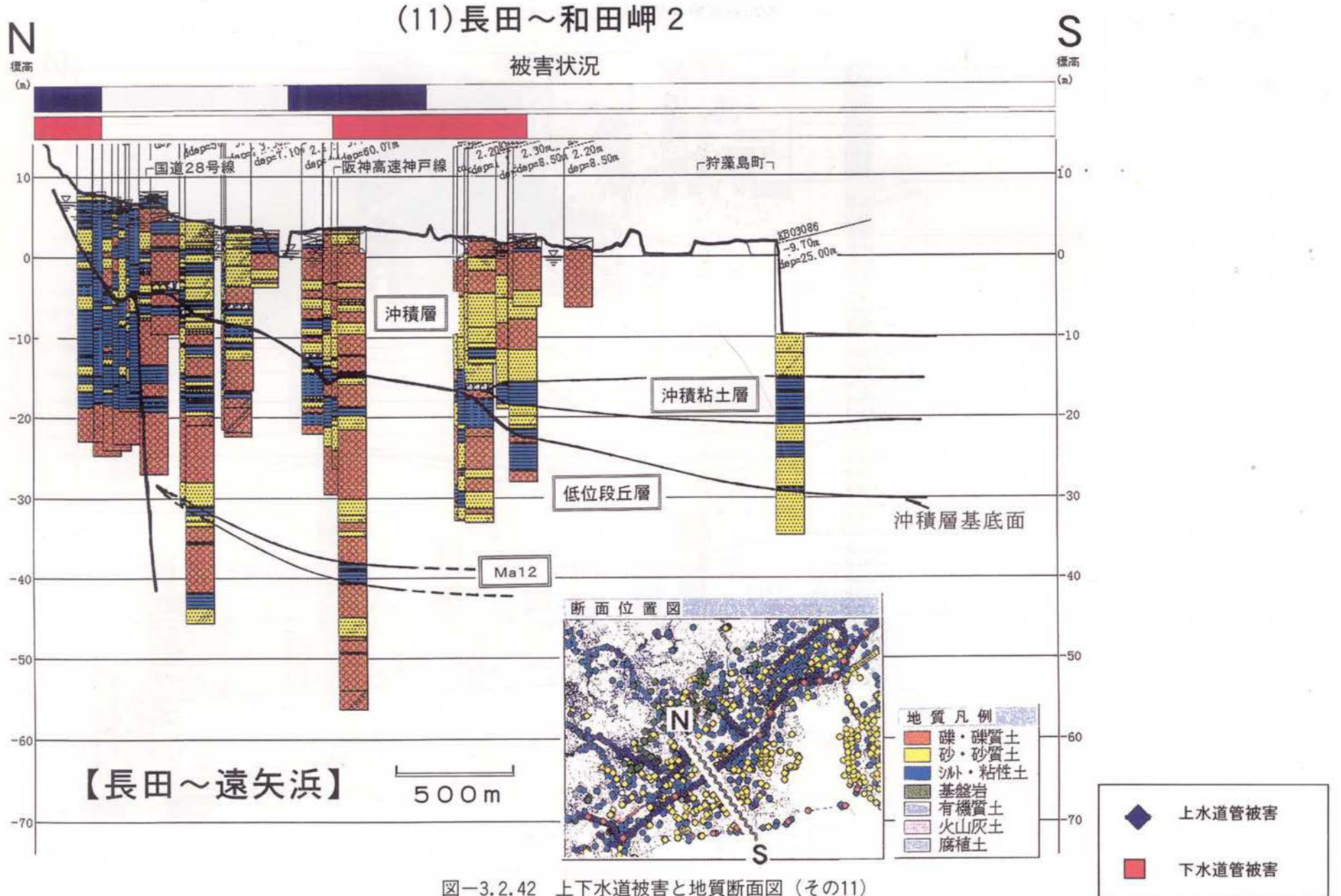


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その11)

(12) 鷹取地域

被害状況

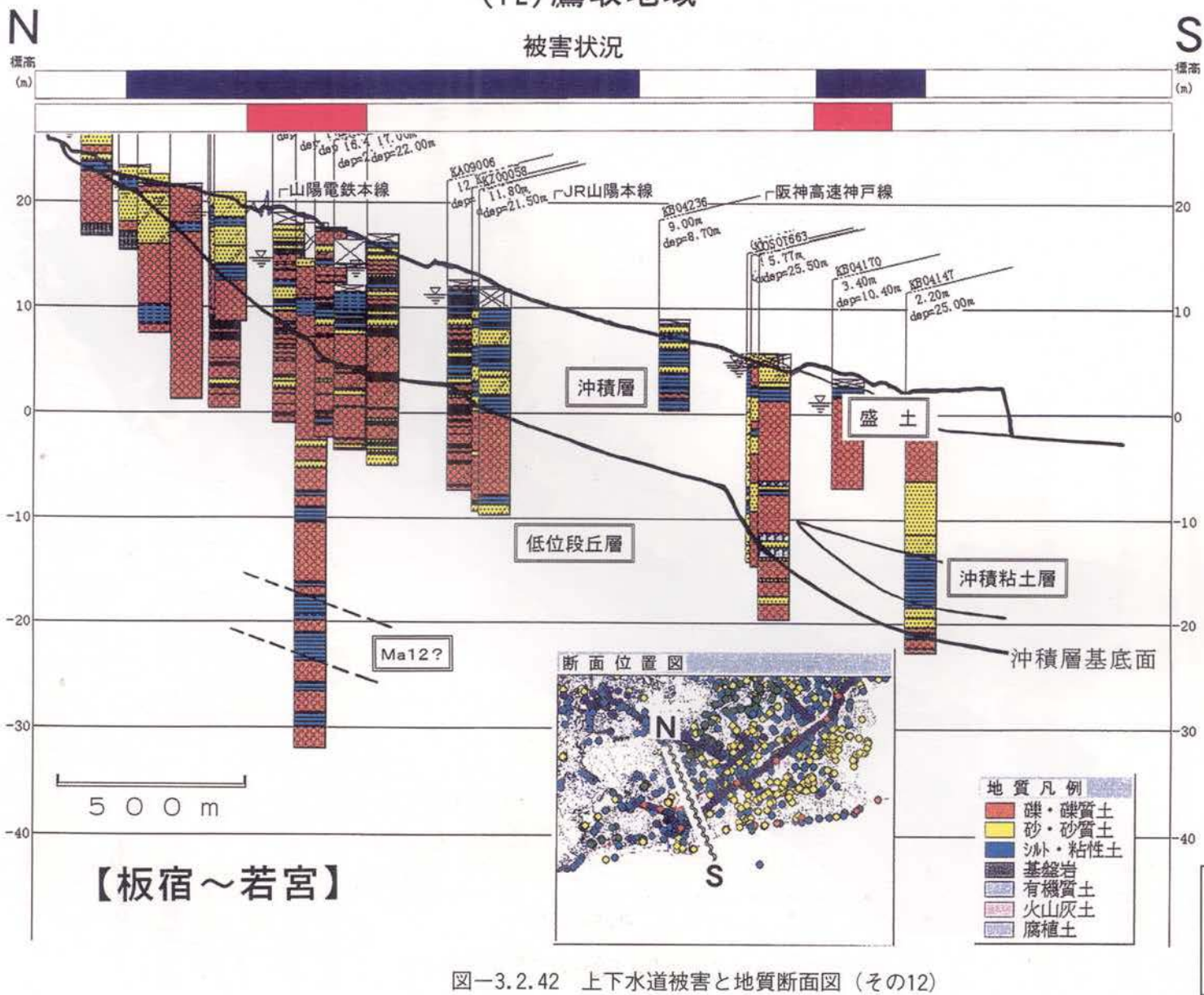


図-3.2.42 上下水道被害と地質断面図 (その12)

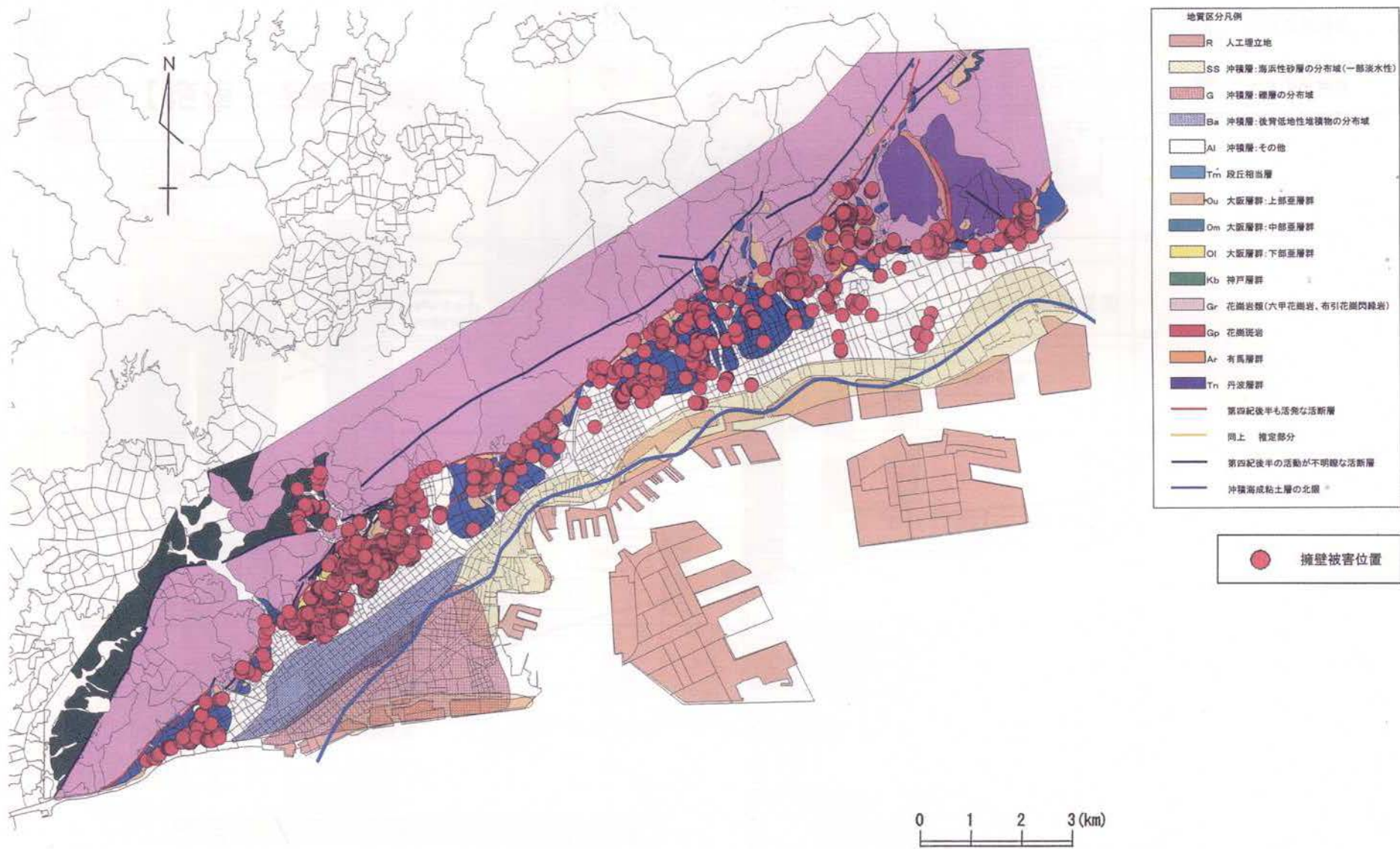


図-3.2.43 擁壁被害位置と地質平面図

3.3 液状化と地震被害

3.3.1 噴砂の分布

神戸市街地において噴砂が確認された位置を噴砂分布図としてまとめ、「神戸 JIBANKUN」にデジタルデータとして入力した。

使用したデータは次のものである。

- ①「阪神大震災被害状況調査報告書」¹⁰⁾ 1995年4月 (財)建設工学研究所
- ②「平成7年兵庫県南部地震災害現況図」¹¹⁾ 1995年4月 国土地理院
- ③「1995年兵庫県南部地震液状化・地盤変位及び地盤条件」¹²⁾ 1995年9月1日 (財)地震予知総合研究振興会

これらのうち、①は現地踏査によるものであるが、沿岸埋立地および人工島での調査のため市街地でのデータが不十分である。また、②および③は航空写真判読から噴砂の分布を図化したものである。

そのため、噴砂分布図作成に当たっては、沿岸埋立地および人工島においては①の現地踏査データを重視し、現地踏査データの無い地区については②および③の航空写真判読データに基づいて作成した。なお、資料によって表示範囲が異なる場合は大きい方の範囲を採用し、いずれかの資料に表示されている範囲はすべて噴砂範囲として入力した。

図-3.3.1に噴砂分布図(市街地全体)を、図-3.3.2~図-3.3.4に噴砂分布図(東灘区、灘区、長田区~須磨区の沿岸部)を示した。

3.3.2 「神戸 JIBANKUN」による液状化判定

(1)液状化判定方法

「神戸 JIBANKUN」の収録データを用いて、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編(1996年12月発行)¹³⁾にしたがって液状化の判定を実施した。

なお、各ボーリング地点での地盤種別については、「神戸 JIBANKUN」で新たに設定された沖・洪積層境界の情報を利用し、自動判定を行った。

その他の計算条件は次のとおりである。

①ボーリングデータ

判定に使用したデータは、噴砂分布図等の被害データとの関連性を検討するため地震前のデータに限定した。このうち、調査深度が20m未滿のものおよび埋立地において地盤改良が実施されている範囲のデータなど液状化判定に適さないものを除いた約1,000本のボーリングデータを使用した。

②土質定数

土質定数は、表-3.3.1に示す値を用いた。「神戸 JIBANKUN」のデータのうち、土質試験が実施されていないものについては各土質分類毎にこれらの値を適用した。

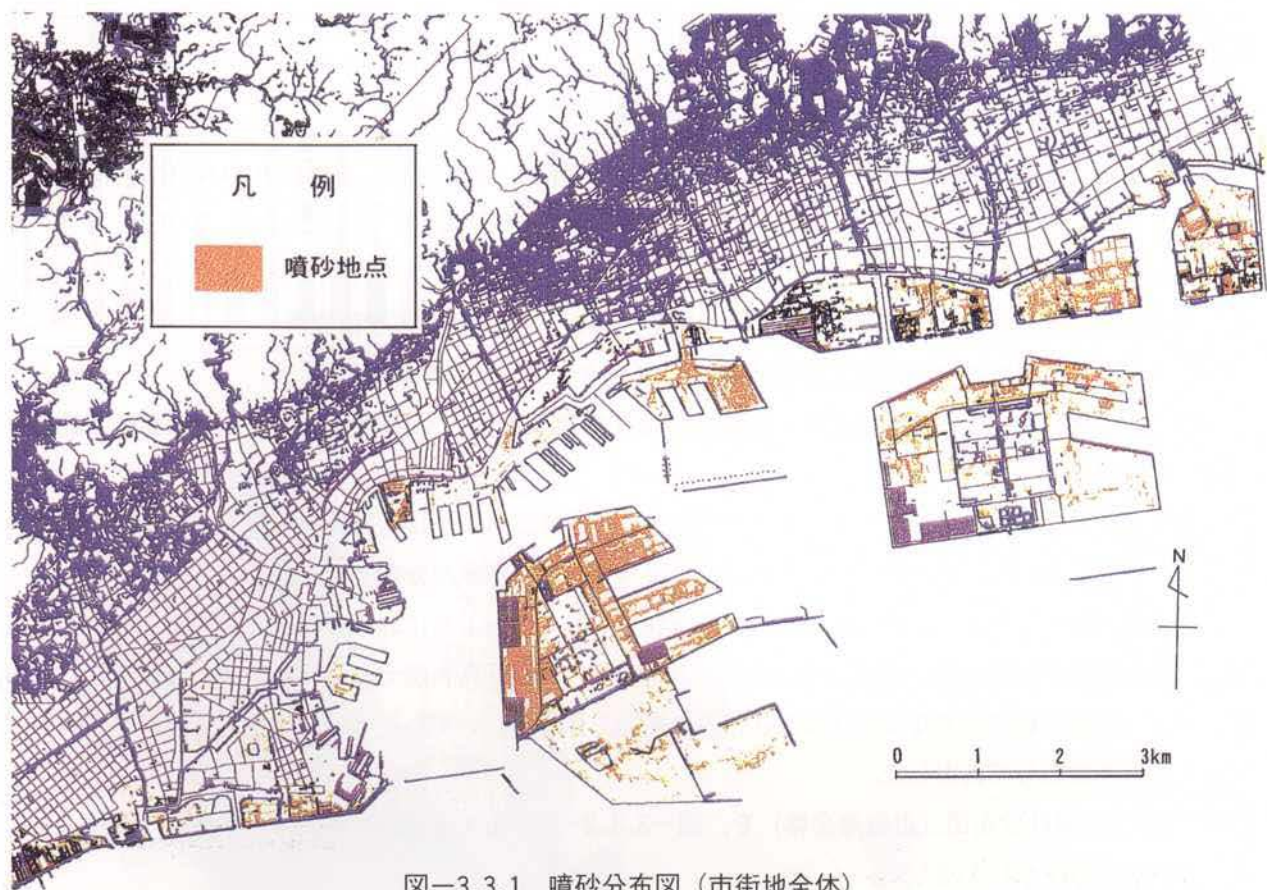


図-3.3.1 噴砂分布図（市街地全体）

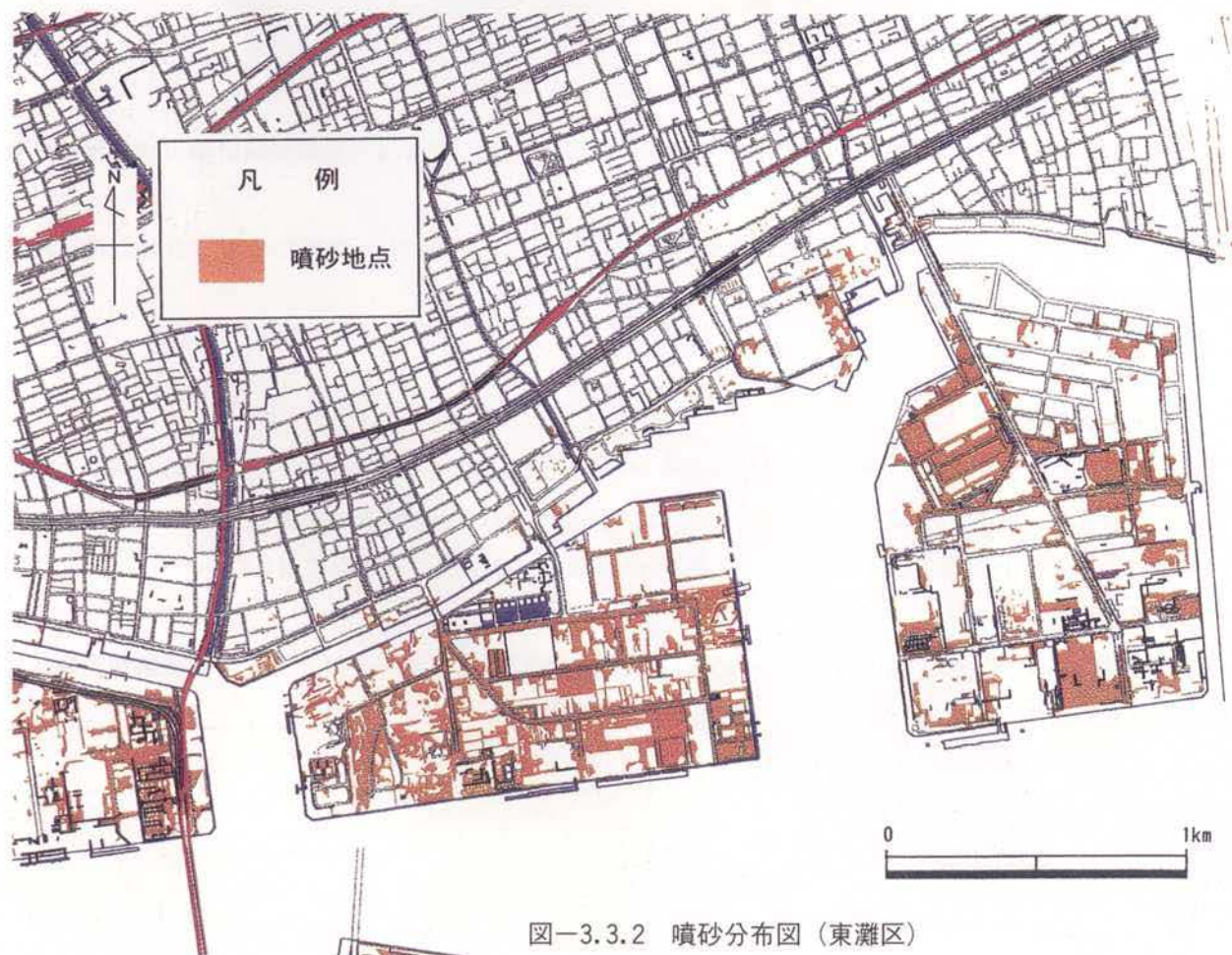


図-3.3.2 噴砂分布図（東灘区）



図-3.3.3 噴砂分布図（灘区）

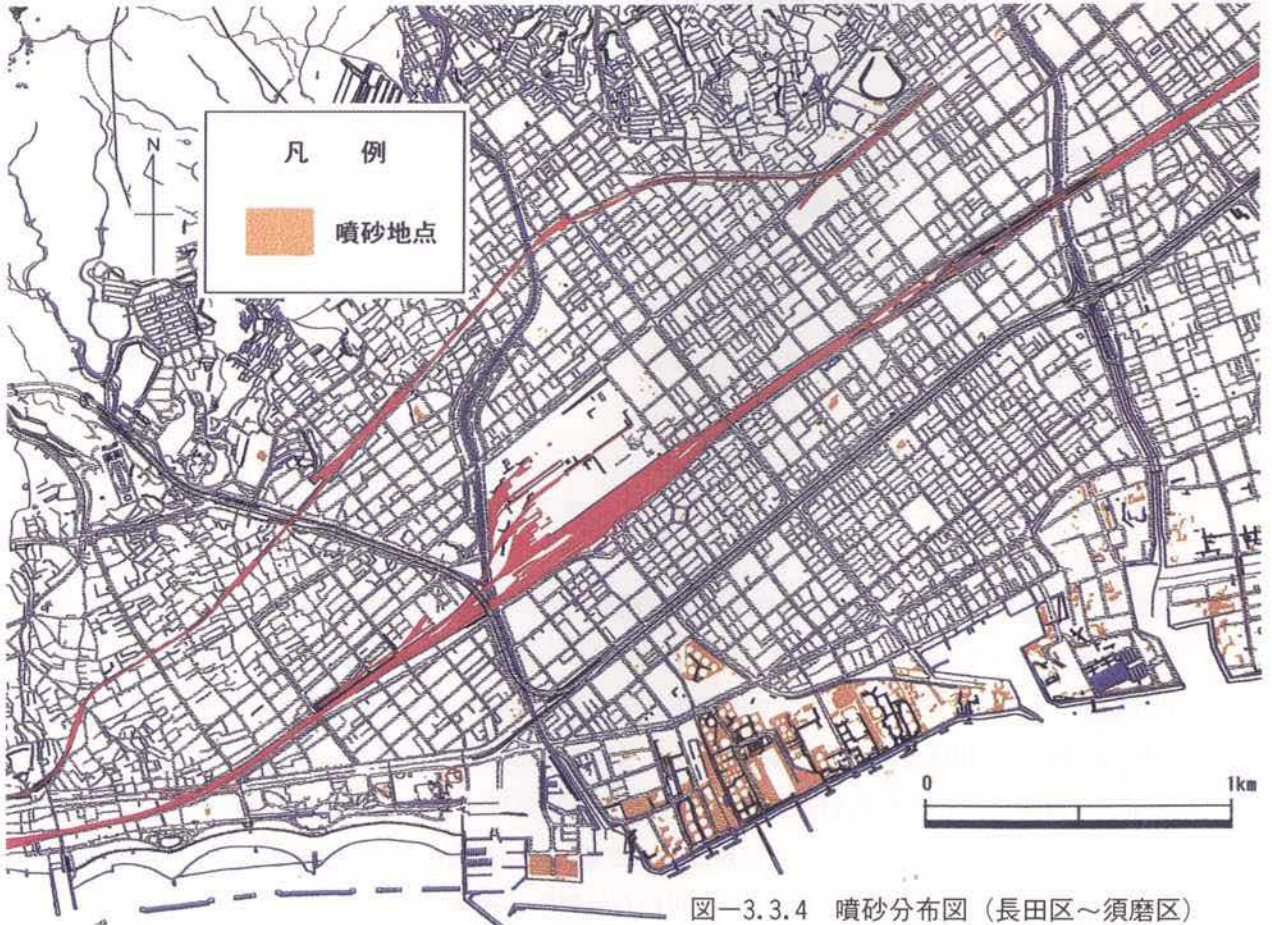


図-3.3.4 噴砂分布図（長田区～須磨区）

表-3.3.1 液状化判定に用いた土質定数

土質分類	単位体積重量 γ_t (tf/m ³)		平均粒径 D ₅₀ (mm)	細粒分含有率 FC (%)
	地下水位面下 γ_{t2}	地下水位面上 γ_{t1}		
埋立土・表土	1.7	1.5	0.02	80
シルト	1.75	1.55	0.025	75
砂質シルト	1.8	1.6	0.04	65
シルト質細砂	1.8	1.6	0.07	50
微細砂	1.85	1.65	0.1	40
細砂	1.95	1.75	0.15	30
中砂	2.0	1.8	0.35	10
粗砂	2.0	1.8	0.6	0
砂礫	2.1	1.9	2.0	0

③ 地下水位

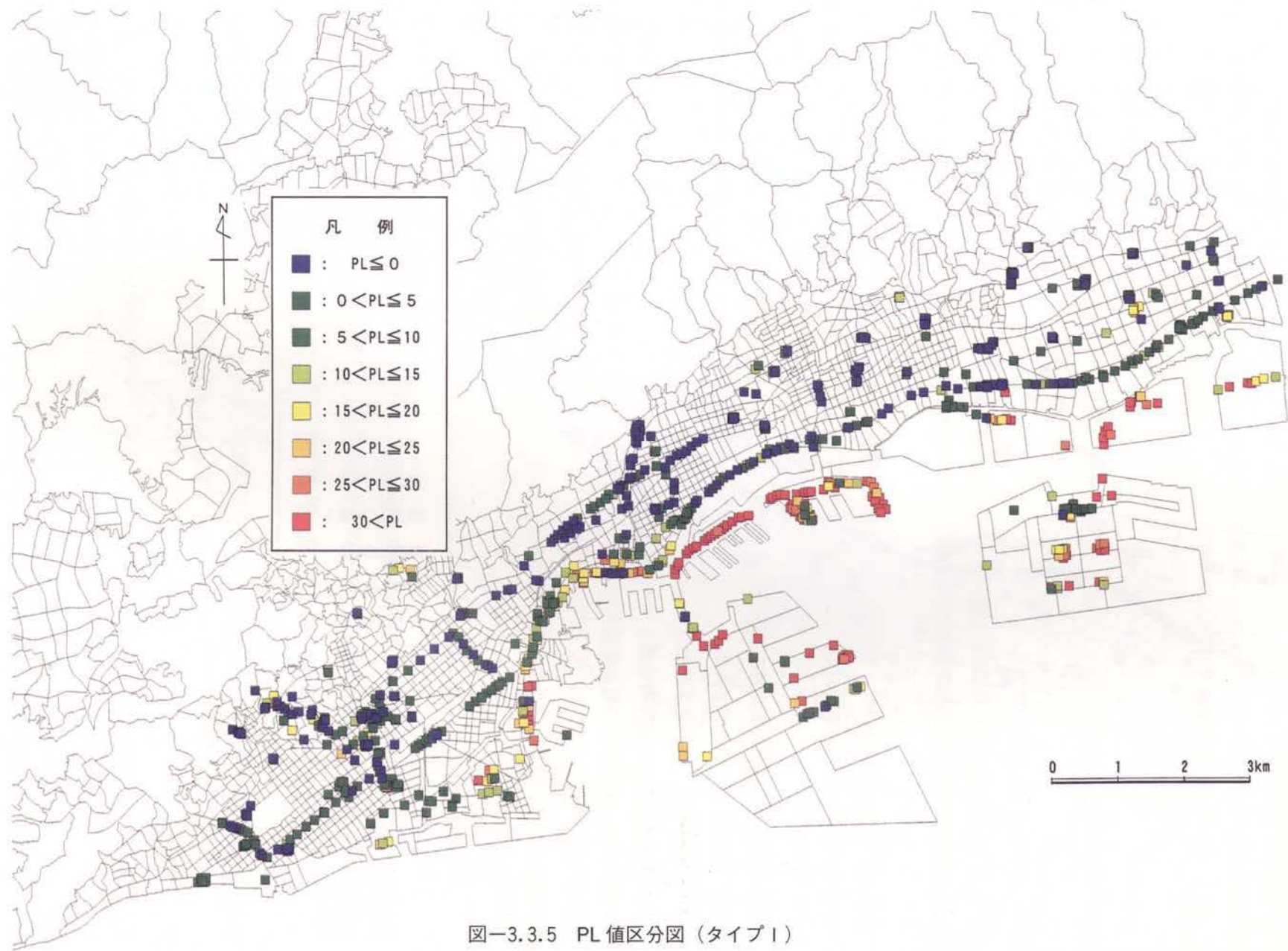
地下水位は、各ボーリング柱状図に記載された調査時点での孔内水位を用いた。

(2) PL 値区分

市街地全域での液状化判定結果を PL 値区分図として図-3.3.5 (タイプ I) および図-3.3.6 (タイプ II) に示した。PL 値は図示した 8 区分とし、各調査ボーリング地点毎に表示した。タイプ I はプレート境界型の大規模な地震による地震動を、タイプ II は兵庫県南部地震のような内陸直下型地震による地震動を考慮したものである。なお、今回の判定結果においては、タイプ II の場合の方が若干 PL 値が大きくなる傾向にあるが、両者の差は全体的に小さくなっている。

PL 値区分図から、各区域での主な特徴をまとめると次のとおりである。

- ・沿岸部埋立地および人工島ではかなりの地点で PL 値が 15 以上を示し、液状化の可能性が高いものと判断できる。これは、実際の噴砂確認状況とよく一致する。沿岸部の沖積低地には締まりの緩い沖積砂層の分布がみられることや、地下水位が全般的に高いことから液状化の可能性が高く判定されたものと考ええる。
- ・住吉川以東の阪神電鉄線と国道 2 号線間では、微地形区分では氾濫平野となり、比較的細粒な堆積物が優勢であること、地下水位が高いことから、PL 値が 15 以上の地点が分布し、液状化の可能性がやや高く判定されている。
- ・東灘区から灘区にかけての扇状地性堆積物の分布域では、粗粒堆積物が優勢となること、地下水位が全般的に低いことから、PL 値は 5 以下の地点が多く、液状化の可能性が低くなっている。
- ・中央区から兵庫区の沿岸部にかけては、締まりの緩い沖積砂層が分布すること、地下水位が高いことから、PL 値が 15 以上の地点が多く見られ、全般的に液状化の可能性が高いと考えられる。
- ・兵庫区の新開地 (旧湊川河道付近) では、扇状地性堆積物・自然堤防堆積物である粗粒な地層が優勢となるため、PL 値が 5 以下の地点がほとんどであり、液状化の可能性が低いと判断できる。
- ・和田岬から西方に伸びる砂堆部分では、粗粒な堆積物が優勢となるため、PL 値が 5 以下の地点が



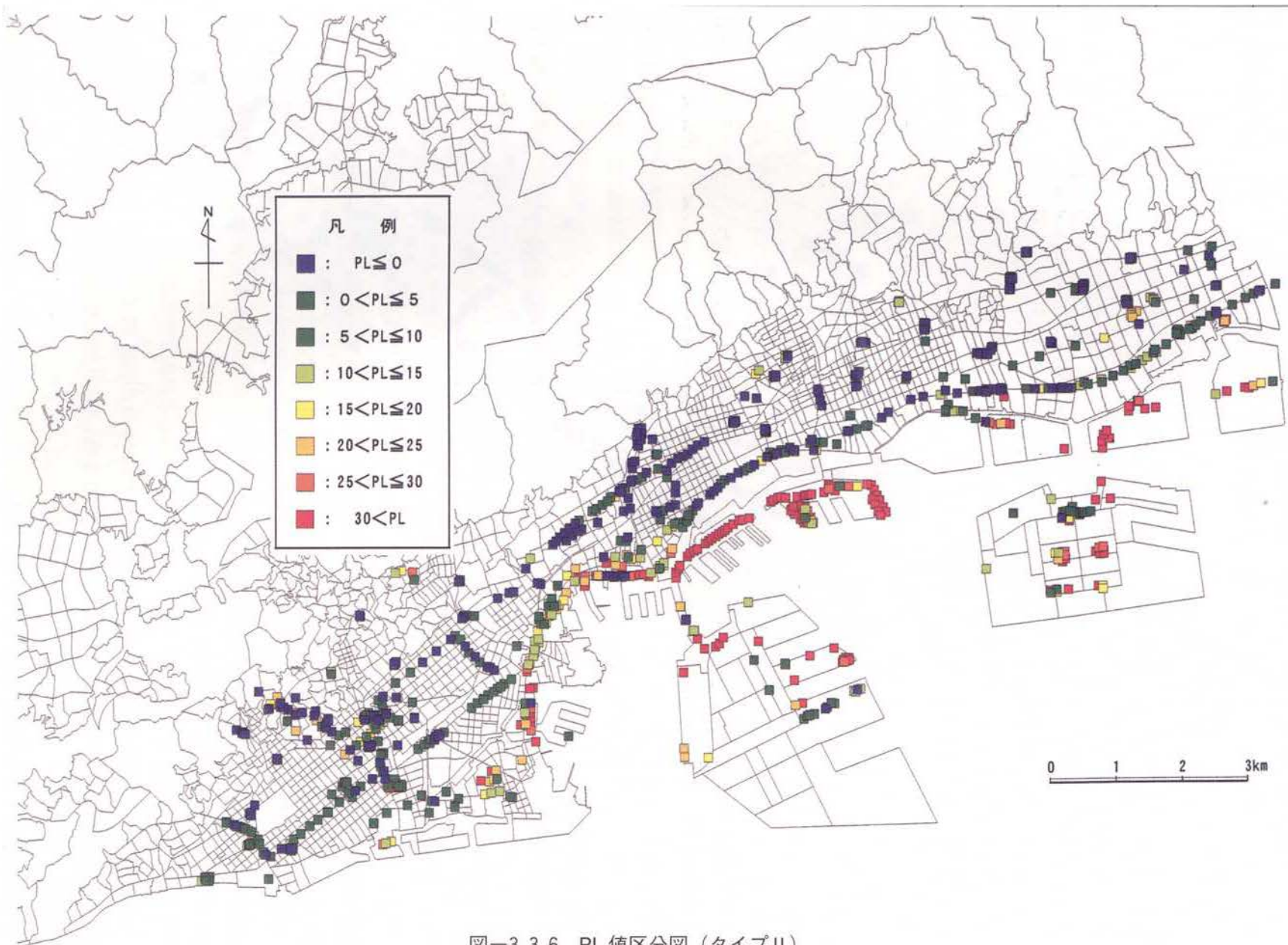


図-3.3.6 PL 値区分図 (タイプII)

多く、液状化の可能性が低くなっている。

- ・長田区から須磨区にかけてのJ R神戸線から高速神戸線間では、微地形区分では氾濫平野となり、比較的細粒な堆積物が優勢であること、地下水位が高いことから、PL値が15以上の地点が分布し、液状化の可能性がやや高くなっている。

3.3.3 液状化と地震被害

兵庫県南部地震によって構造物が受けた被害は多岐にわたっており、その被害が生じた原因の第一は想定を上回る地震動が作用したことである。

液状化に伴う噴砂が多く確認された臨海部埋立地および人工島における護岸構造物（重力式岸壁）の被害は、その後の検討によって、原因の第一は想定地震動を2～3倍上回る地震による慣性力と土圧であり、これに岸壁背後地盤と基礎の置換砂層の間隙水圧の上昇に伴うせん断抵抗の低下による影響が加わったものと考えられている。

上下水道管や共同溝、ガス管等の地中埋設管の被害についても、地下タンクの浮き上がりなどの液状化を主因とするものを除き、地震動の強さ、地盤条件、地盤の側方流動、地中埋設管自体の構造などに基づく要因が複合的に作用していると考えられる。

液状化による被害を考える場合、構造物の基礎深度や埋設深さと液状化層の関係が重要であり、それによって液状化の影響度が異なる。構造物基礎の支持層や地下タンク・下水道管等の埋設層（深度）が液状化した場合には、それらの構造物は不等沈下、浮上り、蛇行等の大きな被害を受けることになる。

液状化判定によるPL値分布を見ると、臨海埋立地においては埋立土層全体が液状化の可能性が大きいと考えられ、実際に確認された被害状況（支持力の低下による直接基礎構造物の不等沈下、地下埋設タンクの浮上り、道路路面の波打ち等）とよく一致する。

自然地盤についても、沿岸低地部の沖積砂層分布域を中心に噴砂が確認されており、これらの区域での被害は液状化に起因する割合が高いものと考えられる。

3.3.4 液状化の評価に関する今後の検討

「神戸 JIBANKUN」の収録データを用いて、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」にしたがって液状化の判定を行ったが、入力地震動、土質、地下水位などの条件により評価が異なってくるため、今後は以下のような点に留意して検討を進めていく必要がある。

①地震動の検討

地震被害の検証および予測を行うためには、地震動の面的な解析を実施し、地震動分布（表層、深度分布）を明らかにした上で、液状化評価を実施する必要がある。

②土質定数の検討

可能な限り土質試験結果の収集整理を行い、各地区での土質特性を明らかにし、地盤モデルおよび土質定数の精度を向上していく必要がある。

③地下水位

既存調査では、自然水位を測定しているものが少ないと判断されるため、精度の高い地下水位資料の収集に努めるとともに、連続的な地下水位観測を実施し、経年変動・季節変動を考慮した検討を行う必要がある。

(参考文献)

- 1) 日本都市計画学会関西支部・日本建築学会近畿支部都市計画部会：阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集，3p，1995.
 - 2) (財)地震予知総合研究振興会：1995年兵庫県南部地震液状化・地盤変位及び地盤条件，pp.114-173，1995.
 - 3) 防災科学技術研究所：1995年兵庫県南部地震による地表面変位位置図，1996.
 - 4) (社)日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析，1995.
 - 5) 柏書房：明治前期 関西地誌図集成，1989.
 - 6) 建設省国土地理院：地震防災土地条件図（微地形区分図），国土地理院技術資料D・1-No.334.
 - 7) 建設省国土地理院：数値地図50mメッシュ（標高），日本Ⅲ，建設省国土地理院，1997.
 - 8) 田中 眞吾：微地形区分図，未発表
 - 9) 沖村 孝，鳥居 宣之，伊井 政司：兵庫県南部地震による山腹斜面崩壊の実態，土地造成工学研究施設報告，第13号，pp.147-167，1995.
 - 10) (財)建設工学研究所：阪神大震災被害状況調査報告書，（未発表），1995.
 - 11) 国土地理院：平成7年兵庫県南部地震災害現況図，1995.
 - 12) (財)地震予知総合研究振興会：1995年兵庫県南部地震液状化・地盤変位及び地盤条件，pp.16-113，1995.
 - 13) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，丸善，1996.
- ※ 6) については、建設省国土地理院長の承諾を得て、同院の技術資料D・1-No.334「1万分1地震防災土地条件図（微地形分類図）」を複製したものである。（承認番号 国地企調発第20号、平成11年3月2日）