

“HERAS (ヘラス)” の災害発生予測手法

富田 健司¹・山下 彰彦²・中村 豊³

¹正会員 財団法人 鉄道総合技術研究所 (〒185 東京都国分寺市光町 2-8-38)

²正会員 工博 財団法人 鉄道総合技術研究所 (“ ”)

³正会員 工博 株式会社システムアンドデータリサーチ (〒186 東京都国立市中 1-18-41 栄ビル)

鉄道総研が開発した災害予測・復旧支援システム“HERAS (ヘラス)”は、地震諸元の入力を受けることにより、各地点にどの程度の災害が発生しているのかを自動推定するシステムである。同じく鉄道総研が開発した早期地震検知警報システムである“UrEDAS (ユレダス)”と組み合わせることにより、迅速で的確な復旧支援がなされる。ヘラスへの地震諸元入力はマニュアルでも行えるので、任意の想定地震に対する弱点箇所の抽出が容易にでき、事前の補修・補強に役立つ。ヘラスの災害発生予測手法の違いにより、第1世代と第2世代のヘラスが存在する。ここでは、両者の手法の違いを明らかにするとともに、実際の適用例を紹介する。

Key Words: Hazards Estimation Restoration Aid System, HERAS, microtremor, K value, damage

1. はじめに

災害発生後、早期復旧のためには、迅速かつ的確な被災箇所の特定と被災程度の把握が不可欠である。“HERAS (ヘラス)”は、地震発生と同時に災害発生の可能性を判断し、災害の分布や程度を自動的に推定する災害予測・復旧支援システムである。地盤や構造物の常時微動測定結果から得られた振動特性をベースに、“UrEDAS (ユレダス)”からの地震情報を受けて発生した地震に対する災害状況を詳細に推定する。震災時だけでなく、日常の保守管理業務の支援にも役立つものである。災害発生予測手法

の違いにより、第1世代と第2世代のヘラスが生まれた。ここでは、それぞれの災害発生予測手法を解説する。なお、第1世代ヘラスの概要については文献1)～3)に詳述されており、また、第2世代ヘラスで使用している「地盤・構造物の地震被害危険度判定指標」K値については文献1)を参照されたい。

2. 第1世代ヘラス

第1世代ヘラスの災害発生予測手法は1992年に完

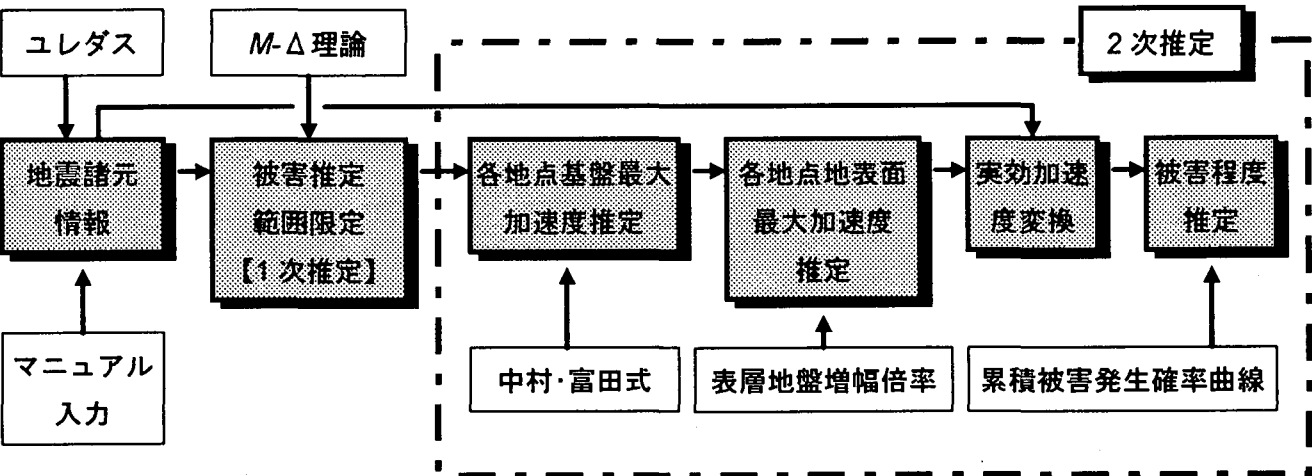


図-1 第1世代ヘラスの災害発生予測手法の概要

表-1 被害程度の評価基準（一部）

被害程度	評価基準
■高架橋・橋梁【橋台・橋脚・沓等】	
α	倒壊，桁落下，柱切断等
β	桁衝突，大亀裂，大剥落等
γ	小亀裂，小剥落等
δ	微小被害（記載のみを含む）
■土構造物【盛土等】	
α	50cm 以上沈下，大流失等
β	20cm 以上沈下，小流失等
γ	20cm 未満沈下，亀裂等
δ	微小被害（記載のみを含む）

表-2 最大加速度から実効加速度への変換係数

マグニチュード M	実効加速度変換係数
5.0~6.1	0.1
6.2, 6.3	0.2
6.4+0.1 <i>i</i>	0.3+0.1 <i>i</i>
7.0, 7.1	0.9
7.2~8.0	1.0
8.1~8.8	1.1

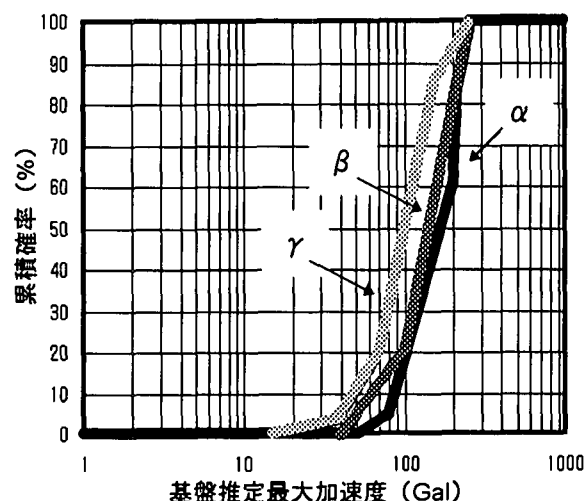
注) i は 0 から 5 までの整数

成した。その手法の概要を図-1 に示す。

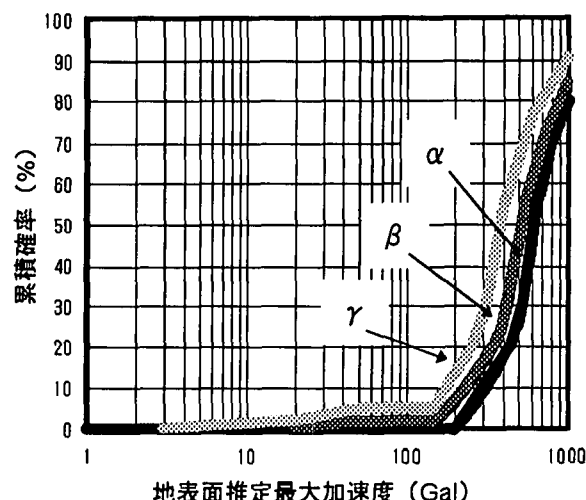
ヘラスは地震諸元の入力を受けると，過去の地震被害発生事例から経験的に求められた M - Δ 理論に基づいて被害発生範囲を限定する（1 次推定）。そのうち，中程度以上の被害発生の可能性が高い範囲に対して，詳細な 2 次推定を行う。

2 次推定は，地震時の地表面における推定最大加速度に対する各種構造物の被害程度ごとに得られた被害発生確率に基づいて行われる。被害発生確率算出の基礎としたものは，1923 年の関東大地震から 1987 年の千葉県東方沖地震までの主な 6 被害地震についての詳細な構造物被害調査結果である。被害程度の評価基準は表-1 に基づく。2 次推定に使用する各種構造物の累積被害発生確率曲線は，各種構造物の被害を中村・富田（1984）式に基づいて推定した基盤最大加速度によって統計解析し（図-2（a）），それを表層地盤の増幅倍率が把握されている地点での被害状況で補正し，地表面推定最大加速度で求められるようにしたものである（図-2（b））。

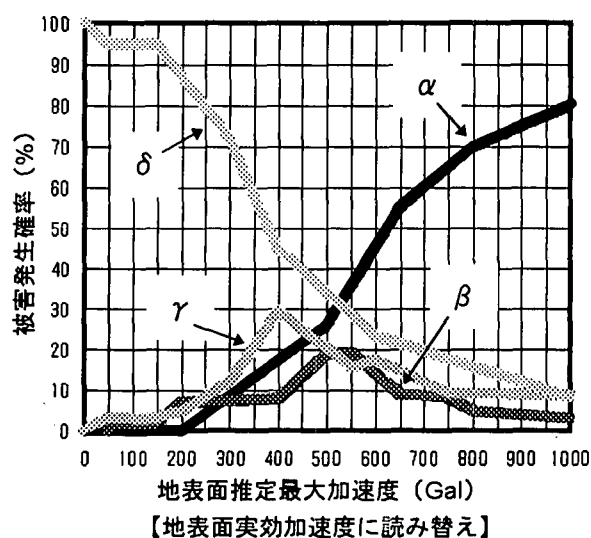
ヘラスは入力された地震諸元を利用して，各地点の基盤における最大加速度を中村・富田（1984）式



(a) 基盤推定最大加速度に対する累積被害発生確率曲線



(b) 地表面推定最大加速度に対する累積被害発生確率曲線



(c) $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 100\%$ 調整後の確率曲線

図-2 高架橋・橋梁の被害発生確率曲線

に基づいて算出する。各地点の表層地盤の増幅倍率は常時微動測定結果から既知であるから、算出された基盤推定最大加速度に増幅倍率を乗じて地表面推定最大加速度を算出する。ただし、加速度の大きさと被害程度とは単純に結びつかないことが調査結果から明らかになっているため、地震規模を考慮した実効加速度へ変換する。これは、過去の被害事例の統計解析の過程で得られたものである（表-2）。各地点の地表面の実効加速度の大きさと構造物種別ごとの累積被害発生確率曲線を比較して、被害程度ごとの累積発生確率を求める。これを α 、 β 、 γ 、ならびに微小被害または無被害の δ の4段階表示で、なおかつ $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 100\%$ となるようにして各被害程度の発生確率を算出する（図-2（c））。

3. 第2世代ヘラス

第2世代ヘラスの災害発生予測手法は1997年に完成した。第1世代ヘラスとの違いは、2次推定の部分にある。各地点の基盤における最大加速度の算出までは第1世代と同様である。第2世代ヘラスでは、基盤推定最大加速度と基盤面から上の部分、すなわち表層地盤と構造物を合わせて考えた部分の地震時発生最大ひずみの関係から被害程度を推定する。地震動加速度の大きさと被害程度を関係づけるものとして、地盤・構造物の常時微動測定結果から求められる地盤・構造物の地震被害危険度判定指標 K 値がある。 K 値には地盤の K 値、盛土の K_j 値、高架橋の K_{sg} 値などがある。 K 値を用いると、基盤最大加速度を a とすると、表層地盤や盛土のような土の部分に発生する平均的な最大せん断ひずみが $\gamma = C \cdot K \cdot a$ （ C ：基盤のS波伝播速度に関する量）、 $\gamma = C \cdot K_j \cdot a$ の関係式で、また、高架橋の柱に発生する最大縁ひずみが $\varepsilon = K_{sg} \cdot a$ の関係式で求めることができる。

一般に土の場合は、最大せん断ひずみ γ が1000 μ 程度になると塑性化し始め、10000 μ 程度から破壊・液状化が生じるとされる。また、鉄筋コンクリートの場合は、最大縁ひずみ ε が200 μ 程度になるとひび割れが生じ始め、2000 μ 程度で鉄筋が降伏する。それ以上のひずみでは破壊が急速に進行する。被害の大小微小に相当する α β γ δ の区切りのひずみとして、地盤・盛土では $\alpha \geq 10000$ $\mu \geq \beta \geq 1000$ $\mu \geq \gamma \geq 100$ $\mu \geq \delta$ 、高架橋柱では $\alpha \geq 10000$ $\mu \geq \beta \geq 2000$ $\mu \geq \gamma \geq 200$ $\mu \geq \delta$ （ $\geq$ ：以上、未満）を当面考える。なお、ここで用いる基盤最大加速度 a については、地震規模を考慮した変換係数（表-2）を

表-3 高架橋被害に関するシミュレーション結果と実被害調査結果の対比

キロ程 (km)	Δ (km)	第1世代 ヘラス 出力結果				第2世代 ヘラス 出力結果		実被害調 査結果 柱の 被災率
		α	β	γ	δ			
0.0	38.2							
0.1	38.1	0	10	10	80	β		0
0.2	38.0	0	0	10	90	β		0
0.3	37.9	0	0	10	90	β		0
0.4	37.9	0	0	10	90	β		10
0.5	37.8	0	0	10	90	β		30
0.6	37.7	0	0	10	90	β		10
0.7	37.6							
0.8	37.5							
0.9	37.4	0	0	10	90	α		10
1.0	37.3	0	0	10	90	β		10
1.1	37.2	0	10	10	80	β	★	100
1.2	37.1	0	10	10	80	α	★	100
1.3	37.0							
1.4	37.0	20	10	30	40	β		0
1.5	36.9							
1.6	36.8	10	10	20	60	β		0
1.7	36.7							
1.8	36.6							
1.9	36.5							
2.0	36.4							
2.1	36.3	0	10	10	80	β		0
2.2	36.2	0	10	10	80	β		0
2.3	36.1	10	10	20	60	β		0
2.4	36.0	20	10	30	40	β		0
2.5	36.0	10	10	20	60	β		0
2.6	35.9							
2.7	35.8	10	10	20	60	β		100
2.8	35.7	20	10	30	40	α	★	100
2.9	35.6	20	20	20	40	α	★	100
3.0	35.5	10	10	20	60	β		100
3.1	35.4	20	10	30	40	β		100
3.2	35.3							
3.3	35.2	10	10	30	50	β		100
3.4	35.2	20	10	30	40	γ		100

記述のない箇所は、対象外構造物。
★印は、被害がとくに大きかったところ。

乗じた基盤の実効加速度とする。

4. 比較シミュレーションと考察

第1世代、第2世代ヘラスの災害発生予測手法について、シミュレーション結果と実被害調査結果との比較を1995年に発生した兵庫県南部地震を例にとって行ったものが表-3である。

第1世代ヘラスは、全体的な傾向として被害程度を小さめに推定していることが分かる。これは、現地の構造物の個々の特性が生かされない予測手法によることが大きく影響しているためと思われる。また、 $\alpha\beta\gamma\delta$ のそれぞれの発生確率で表示しているために、実際にどの程度の被害が発生しているのかを見極めるのが難しい。

一方の第2世代ヘラスは、その場所の被害程度が α なのか β なのか…を単純に表示しているので、被害程度の見極めは第1世代に比べてはるかに容易である。実際の被害がとくに大きかった場所（表の★印の場所）をほぼ的確に指摘できたことは、地震の前に行った常時微動測定結果から得られた高架橋の K_{sg} 値を用いていることを考え合わせると、この手法が極めて有効かつ合理的であることを証明している。ただし、このシミュレーションを実施したときの被害程度を表す $\alpha\beta\gamma\delta$ の区切りのひずみ量は暫定的なものなので、さらに確定値を得るための研究を行わなければならない。

5. おわりに

第1世代ヘラスはワークステーション上で動作し、データベースにあるおよそ15,000地点の災害発生予測に要する時間は数分である。一方の第2世代ヘラスは、パーソナルコンピュータ上で動作する。第2世代ヘラスを使って同じ地点数の災害発生予測を行

った場合、1分程度で完了する。なお、第2世代ヘラスでも、第1世代ヘラスの災害発生予測手法を実行することができる。

ヘラスにはこれまで述べてきたような災害発生予測機能のほか、データベースにある各地点の振動特性のグラフを周辺の地図などとともに1ページにまとめた「地震防災管理基図」を画面表示、あるいはカラー印刷できる機能も有している。この情報は、日常の保守・管理業務に大いに役立つものである。補修・補強・改良等がなされた場合には常時微動の再測定を行い、データベースの更新を行う。旧データと比較することにより、どの程度改善されたのかを定量的に判断することができる。

ヘラスは、鉄道の分野に限定されるものではない。常時微動を測定し、所定の分析を行った地盤・構造物はすべてヘラスの災害発生予測対象となりうる。

今後は、地盤・構造物の地震被害危険度判定指標 K 値をより精度の高いものに改良していくとともに、破壊現象を考慮して被害程度を表す $\alpha\beta\gamma\delta$ の適切な区切りのひずみ量を求めるなど、より確度の高い災害発生予測が行うことができるように、さらに研究を深度化させていく予定である。

なお、ヘラスの開発は、運輸省の補助金をもとに、「鉄道の安全性のさらなる向上に関する技術開発」の一環として進められている。

参考文献

- 1) 中村：研究展望 総合防災システムの研究，土木学会論文集，No.531/I-34，1996.1.
- 2) 中村：ユレダスとヘラス 地震災害軽減のためのリアルタイム防災情報システム，鉄道総研報告，Vol.10，No.3，1996.3.
- 3) 齋田，富田，中村：災害予測・復旧支援システム「ヘラス」 地震対応プロトタイプ，第5回地理情報システム学会講演論文集，1996.10.