

津波被害地区における避難所設置場所の検討に 関する基礎的研究 -岩手県宮古市田老地区を例に

猪狩 有佑¹・平井 寛²・南 正昭³・菱沼 拓郎⁴

¹学生会員 岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目3-5)
E-mail:t251001@iwate-u.ac.jp

²正会員 岩手大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目3-5)
E-mail:hirai@iwate-u.ac.jp

³正会員 岩手大学教授 工学部社会環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目3-5)
E-mail:minami@iwate-u.ac.jp

⁴学生会員 岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目3-5)
E-mail:t2511020@iwate-u.ac.jp

本研究の目的は、平成23年東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波により甚大な被害にあった三陸地方沿岸部において、復興に伴い避難所設置を検討する際の知見を得ようとしたものである。岩手県宮古市田老地区において、実際に地元住民に訓練的に避難行動してもらい得られたデータと、東北地方太平洋沖地震の津波の到達時間から、避難所同士の適当な間隔距離を求めて勢力圏として考えた。それに基づきGISソフト上で東北地方太平洋沖地震の津波浸水域を考慮しながら、田老地区の避難所の設置場所の候補を提案した。その結果、高齢者はゆっくり避難した方が効率的な場合があることと、田老地区においては4回程の避難所を設置すれば、津波浸水域のほぼ全域をカバーできるということが分かった。

Key Words : *tsunami, evacuation, a safe shelter, sphere of influence*

1. 背景

(1) 平成23年東北地方太平洋沖地震と岩手県への被害

平成23年3月11日14時46分、三陸沖(北緯38.1度、東経142.9度)を震源とする、国内の観測史上最大となるマグニチュード9.0の地震が発生した。アメリカ地質調査所(USGS)によると、1900年以降に世界で発生した地震の中で4番目の規模の地震となっている。

この地震により、岩手県では、大船渡市・釜石市・滝沢村・矢巾町・花巻市・一関市・欧州市で震度6弱を観測したほか、県内各地で強い揺れを観測した。この地震に伴って発生した津波は、北海道から東北・関東の広範囲に及ぶなど、明治29年・昭和8年の三陸地震津波、昭和35年のチリ地震津波を凌ぐ大規模なものだった。気象庁は、この地震を「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」と命名し、また日本政府は、この地震による震災の名称を「東日本大震災」とすることを決定した。

またこの地震の発生後、大小含めた数多くの余震が断

続的に発生し、本震後3か月間でM5.0以上の余震が500回以上観測されている。特に平成23年4月7日には、宮城県沖を震源とするM7.1の強い余震が発生し、県内でも強いところで震度6弱の激しい揺れを観測した。

東北地方太平洋沖地震と、それに伴って発生した津波は、東北地方から関東地方の太平洋沿岸の広範囲に及び、岩手県の沿岸地域を中心に甚大な被害を出した。その人的被害は7,517人、水産業をはじめとした産業被害が4,795億円、公共土木被害が2,567億円となっている¹⁾。沿岸地域の被害は、壊滅的な被害を受け集落・都市機能をほとんど喪失した地域、臨海部の市街地を中心に被災し後背地の市街地は残存している地域など、市町村や地域により大きく異なる。また内陸地域においても、人的被害や家屋、製造業、農林業施設、公共土木等の被害が発生した。また福島県の東京電力福島第一原子力発電所において炉心熔融による深刻な原子力事故が発生して大量の放射性物質が外部へ流出し、岩手県でも肉牛の出荷停止の指示を受けるなど、その影響は計り知れない。

(2) 田老地区の概要と被害状況

東北地方沿岸部では、津波防災に積極に取り組んできた自治体が多い。その中でも岩手県宮古市田老地区(旧下閉伊郡田老町)は、津波に強いまちづくりを進めてきた事例として有名である。

ここに田老地区の概要についてまとめておく。

- a) 人口 4,434人(H23.3.1 宮古市 HP より)
- b) 世帯数 1,478 世帯(3人/世帯と想定し逆算)
- c) 都市計画区域 区域外
- d) 陸中海岸国立公園 自然公園法の適用(特別地域あり)

地区全体の人口は大幅に減っているのに対し、それに占める高齢人口の割合は増えつつある、過疎化と高齢化が著しく進む典型的な農漁村地域である。同地区は狭い湾が複雑に入り組んだリアス式海岸の奥に位置し、古来より三陸地方の中でも大きな津波被害に遭ってきた。特に明治三陸地震津波(1896年)と昭和三陸地震津波(1933年)では甚大な被害を受け、それを教訓に高さ10m、長さ2,433mに及ぶ防潮堤を建設し、チリ地震津波(1960年)では被害を皆無に留めている。「津波はてんでんこ」という教訓が存在し、津波が来た時には家族でさえも見捨てて高台に逃げろという内容である。以上のように津波防災意識が非常に高い地域であることが言えるだろう。

しかし東日本大震災による津波は田老で遡上高37.9mに達し(土木学会調べ)、防潮堤を乗り越え市街地に流れ込み、防潮堤自体も580mに渡り損壊し、住宅被害も約1,600戸を超える全壊と約1,000戸の半壊に及ぶ壊滅的な被害を受けた。宮古市では400人を超える死者が発生している。このように津波対策を進めてきた地域でも甚大な被害が生じたことは、津波の脅威と対策の難しさを示唆している。

(3) 田老地区の復興の見通し

今後の復興について、また津波が押し寄せる可能性を考えると、被災した市街地を復元するだけでは不十分である。随所に津波防災を考慮に備えた市街地再生について検討していくことが重要である。

岩手県技術士会は、田老地区の復興計画について6個の復興ビジョンを提示した。それらの具体的な内容を表-1に示す。

実際には工期や予算を考え、また市民の意見を取り入れるなどして、この案や場合によってはそれ以外の案との複合的な折衷案が取られることになるだろう。またその地域ごとに取られる案は当然変わってくるだろう。

この論文では、特にその中でも避難所について注目したい。避難所は地震・津波に限らず、洪水や台風などの他災害時でも多様に機能できる。このことから避難所を設置する価値は十分にあると考える。

表-1 岩手県技術士会による復興ビジョン

Case	復興ビジョンの具体的内容
1	防潮堤と市街地を従来の位置、高さで再建し、人工地盤による避難所を設置する。
2	大規模な防潮堤を整備し、市街地は従来の位置、高さで建設する。
3	防潮堤は従来の位置、高さで復旧し、市街地は全体盤上げし、従来の位置に再建する。
4	防潮堤は従来の位置、高さで復旧し、市街地は山側に造成して集団移転する。
5	防潮堤は従来の位置・高さで復旧、海岸沿いの市街地を高台に集団移転する。
6	防潮堤は従来の位置、高さで復旧し、海沿いに複合ビルを建設し、盤上げて市街地を集団移転する。

避難所が少ないと、避難所まで遠い住民の避難活動を困難にしまうおそれがある。しかし避難所の数が多すぎても、コストがかさみ税金を蔑ろにしてしまう上、各々の避難所の効率性が落ちてしまう。定量的なデータの解析に裏付けされた適当な設置の検討が必要である。

(4) 我が国の津波防災に関する研究

我が国での津波に関する研究は積極的に進められ、世界的にも高い評価を得ている。それに伴い津波保全施設の設定や緊急地震速報と連動した津波警戒システムなど、津波防災対策は高い水準にある。それでもなお沿岸部が東日本大震災に伴う津波で甚大な被害を受けたことは、津波対策の難しさを如実に物語っている。津波へのハード面での対策もある程度の効果はあるが、実際の人的被害の程度は沿岸の住民の避難行動により大きく左右される。避難行動は生死に直結する重要な要素であり、津波が危惧される地域では、住民が容易に避難できるような都市整備を進めることが求められる。麻生らは山口県宇部市を対象にして、遺伝的アルゴリズムを用いて住民の災害時の避難行動をシミュレーションし、避難所の最適な配置を提案した²⁾。しかしこれは住民の避難速度を1.0m/sと仮定しての検討であり、実際に地元住民に避難行動をさせて得られたデータから避難所の配置について言及した研究は行われていない。

2. 目的

本研究では、田老地区の避難所の設置数やその間隔距離を、現地で得られたデータから検討していくことを目的としている。東日本大震災前に実際に地域住民に避難所まで避難を行った時の移動速度と、東日本大震災の実際の津波到達時間から合理的な避難時間を求め、避難所の適当な間隔距離を割り出し、今後避難所の設置を検討する上での知見を得ることを目的とした。

3. 方法

(1) 調査対象と考える避難所

本研究では、岩手県宮古市田老地区を調査対象地域とする。同地区の概要と被害状況については前述の通りである。田老地区では第一避難所(津波来襲時に、津波そのものを回避する場所)と、第二避難所(津波が収まった後、自宅での生活が困難な場合に生活していける場所)をそれぞれ指定して、それを津波浸水予測図とともに記したハザードマップを全戸に配布している。ここでは18の第一避難所が指定され、それを図-1に示す³⁾。

本研究で検討する避難所とは、津波対策に特化した人工地盤による鉄筋コンクリート製の4階建て以上の複合ビルを想定している。津波来襲時に避難できる高台として機能することはもちろん、避難生活用品を備蓄しておく、平時には商業施設や行政施設として利用することもできる建造物のことを指して検討している。しかし予算の都合でより規模の小さいものになることも考えられるが、本研究では設置場所について検討することが目的なので、そこまでは考察しないこととする。

(2) 調査時期と調査避難路

2011年1月22,23,26,29,30日の合計5日間、田老地区の避難路のうち7つの避難路での避難行動調査を行い、93人の地元住民の協力を得られた。しかし極端に人数の少ない避難路も存在するので、本研究では最も参加人数が多かった旧田老町役場への避難路(57人が参加)での調査結果を用いる。

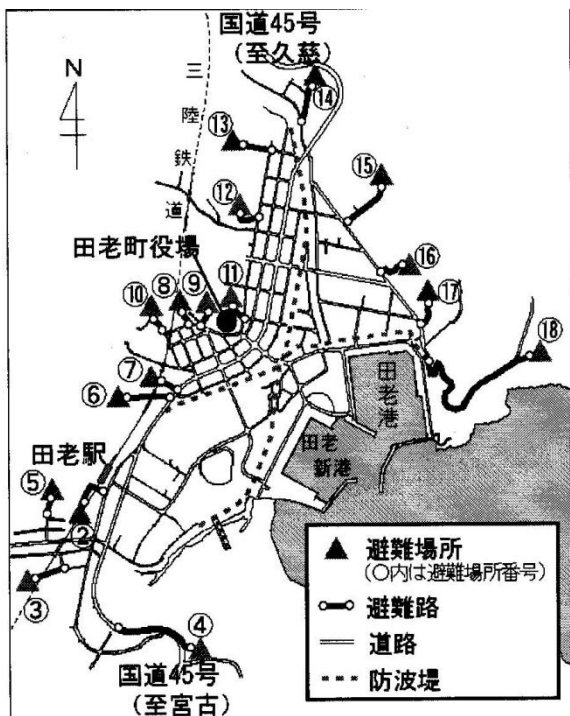


図-1 田老地区における第一避難場所の位置

(3) 避難行動調査の方法

調査は対象者に対して、「ゆっくり避難する」「急いで避難する」の2通りの方針で避難路を避難するように指示し、それぞれ1回ずつ避難していただいた。ただし高齢者も多いので、「急いで避難する」については、無理の無い範囲で急いでいただいた。

対象者には、腕時計型のランナー向けGPSトレーナー(GARMIN社ForeAthlete 405)を腕に取り付けて、避難開始から終了までの速度・所要時間を計測した。合わせて避難の前後に15秒間の脈拍も計測して、それを4倍することで1分間の心拍数を求めた。また個人属性として年齢と性別を把握した。以上により、各調査対象者における、2通りの避難方法による移動速度と、避難前後の脈拍を得ることができた。

この測定結果から避難可能距離 L [km]は、様々な要素から実際の速度が低減することを考えて、次式のように表す⁴⁾。

$$L = C_1 \times C_2 \times v \times \frac{T}{60} \quad (1a)$$

C_1 :疲労係数[-]

C_2 :援助率[-]

v :計測避難速度[km/h]

T :避難完了時間[min]

疲労係数 C_1 と援助率 C_2 の意図は表-2に示す。参照元である高知県海洋局の津波シミュレーションでは、さらに「避難路の幅員」、「新耐震基準以前の家屋」等を考えて速度の低減を考えているが、田老地区においてはデータを取っていないのと、津波で多くの家屋や道路も流され、これから計測することは困難であることから本研究では考えないこととした。また「繰り返しによる教育効果」に関する低減についても、避難行動の繰り返しは1度だけの調査なので同様に考えないこととした。

ここで、住民が避難を完了していなければならぬ時間について考える。避難所について、地震が発生してから津波が押し寄せるまでの間に、住民が無理なく到達できるよう整備しておかなければならない。津波は繰り返し押し寄せ。第一波よりも第二波・第三波のほうが高くなる可能性がある。しかし少しでもリスクを低減させるためには、第一波到達の時点で避難行動が完了していることが望ましい。一般財団法人日本気象協会の見解に

表-2 低減率に関する補足説明

項目	内容
疲労係数 C_1	避難速度計測実験は短い距離で行うが、実際には長距離の避難が考えられるため、体力的疲労による速度低減の割合を「疲労係数」と定義した。
援助率 C_2	避難時は各地域において災害弱者を援助しながら避難することが考えられるため、援助することによる速度低減の割合を「援助率」と定義した。

よると、東日本大震災では震源域から近い宮古・釜石・大船渡・鮎川は津波の初動部分の記録が不安定であるが、宮古沖・釜石沖・気仙沼沖の GPS 波浪計の到達時間が 4～8 分であることと、北海道の襟裳岬付近では第一波が 30 分程度で到達していることから、三陸地方では 10～20 分程度で第一波が到達したと考えられている。そこで本研究では津波最短到達時間を 10 分として、さらにそこから避難準備時間として 2 分を減じ、避難完了時間を 8 分とした。

(4) GIS 上での避難所設置場所の検討

GIS ソフトの一つであるインフォマティクス社製の「SIS Map Modeller ver7.0 SR2」を用いて、国土地理院「数値地図 25000」（縮尺 1/25000、平成 15 年）の上に、求められた避難可能距離を考慮しながら避難所の設置場所を検討した。田老地区のデータは宮古市との合併前の岩手県下閉伊郡田老町の扱いになっている。直線距離ではなく、道路を用いた場合の経路距離の及ぶ範囲を各避難所の勢力圏とし、それらが極力重ならないようにした。その際、東日本大震災による津波浸水域をカバーするように留意した。

4. 結果と考察

(1) 調査対象者の概要

対象とした避難路では、57 人の避難行動を調査した。性別の内訳は、男性が 35 人、女性が 22 人であった。年齢は 7 歳から 83 歳までで、その平均は 46.1 歳、標準偏差は 22.8 だった。その詳細を表-3 に示す。男性の 20 歳未満の人数と女性の 65 歳以上の人数が若干多めなところが目立つが、概ね地区住民の年齢構成を反映することができたサンプリングとなっている。

(2) 避難行動調査結果

田老町役場への避難行動データを年齢順に並べて、各年代で平均速度を求めた。その結果を図-2 に示す。特に高齢者(65 歳以上)において、避難速度が相対的に低い上に、急いでも所要時間を減らせる割合が小さいことが分かる。このことから、より安全側を取るため、高齢者の平均避難速度 4.5[km/h]を計測避難速度とする。

表-3 調査対象者の性別・年齢構成

年齢	男性		女性	
	人数	割合(%)	人数	割合(%)
20歳未満	7	20.0	3	13.6
20-64歳	20	57.1	12	54.5
65歳以上	8	22.9	7	31.8
全体	35	100.0	22	100.0

図-2 に示す通り、避難行動は各年代で傾向が大きく異なることが分かった。若年層では急いで避難することによりある程度の時間短縮が見込めるが、高齢者においては必ずしもそうではないことが分かる。さらに個人のデータではあるが、高齢者の中には「ゆっくり避難」した時よりも「急いで避難」した時の方が、むしろ多く避難に時間を要したケースも見受けられる。これらのことから高齢者においては、緊急時は焦らずにペースを考えて避難した方が、結果的にはより早く避難を完了できる場合もあることと、そうでなくても時間の短縮の幅は小さく、無理のない範囲でゆっくり避難の方が効率的である可能性があることと示唆している。

(3) 避難可能距離の算出

得られたデータから、住民が津波到達までの避難可能距離 L [km]を求める。

$$L = C_1 \times C_2 \times v \times \frac{T}{60} \quad (1a)$$

ここで避難速度の低減率として考える、疲労係数 C_1 と援助率 C_2 については、高知県海洋局のデータより

$$C_1 = C_2 = 0.9$$

とする。また前述により避難完了時間 T と計測避難速度 v については

$$T = 8 [\text{min}], v = 4.5 [\text{km/h}]$$

となっている。その結果、式(1a)は、

$$L = 4.5 \times 0.9 \times 0.9 \times \frac{8}{60} = 0.4867 [\text{km}] = 486.7 [\text{m}]$$

となり、避難可能距離が算出された。

またここで速度低減まで考えた避難速度は、

$$4.5 \times 0.9 \times 0.9 = 3.65 [\text{km/h}]$$

となっていることにも注目したい。麻生らの仮定した避難速度 3.6[km/h](=1.0[m/s])とほぼ一致する。

以上より、この調査で得られたデータからは、避難所は各々の勢力圏が 486.7m となるように設置すれば効率性があると言えるだろう。

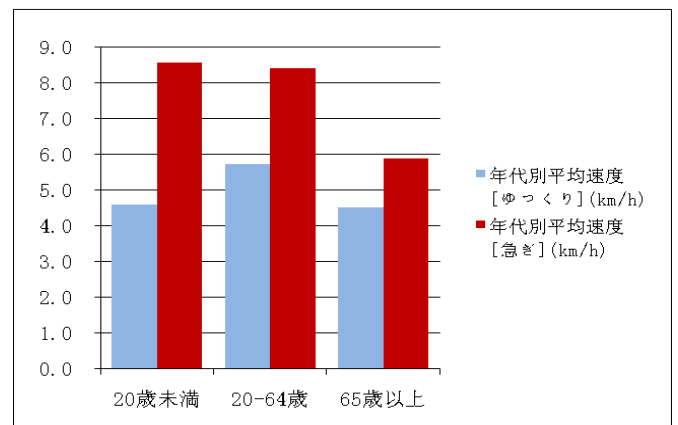


図-2 年代別避難行動調査結果の図示

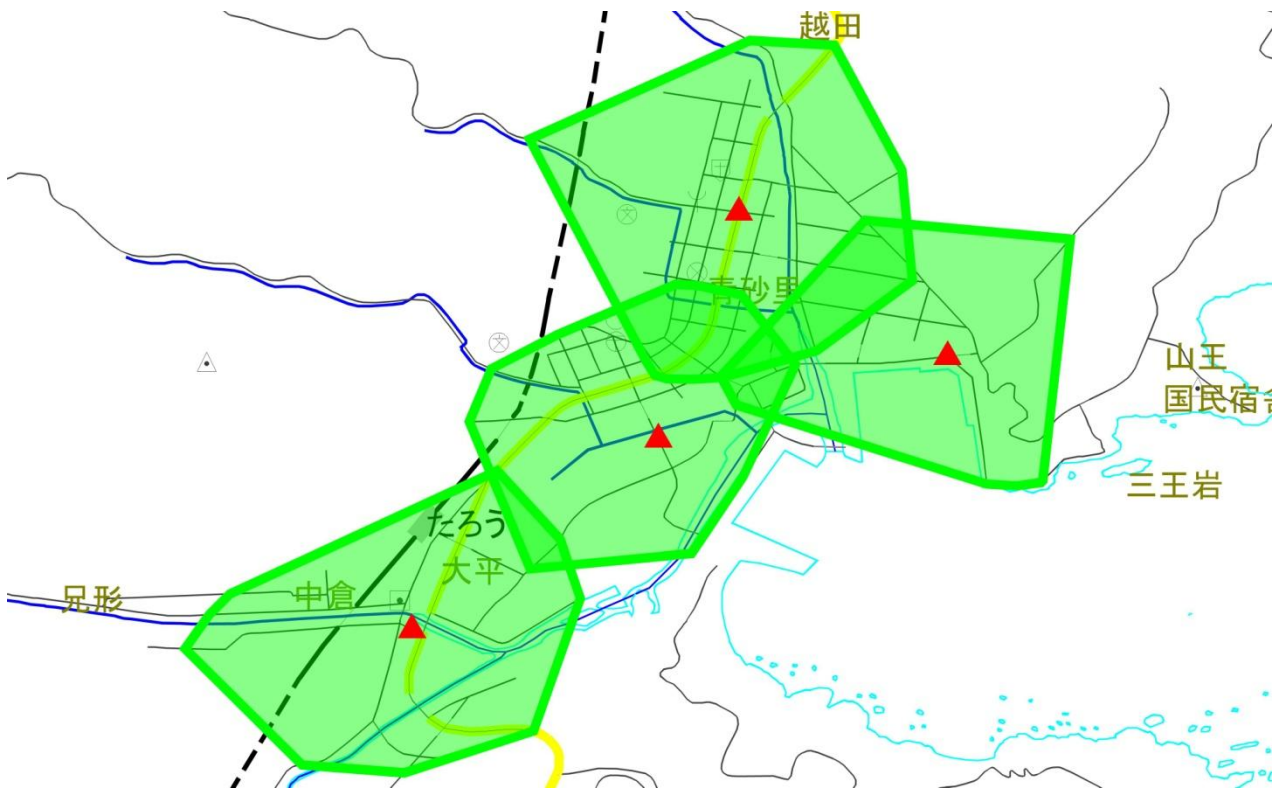


図3 田老地区の避難所設置場所の候補例(▲が避難所，塗りつぶし範囲が各々の勢力圏)

(4) 避難所設置場所の検討

避難所から道路の経路距離で 486.7m までの範囲をその避難所の勢力圏とし，それらが極力重ならないように，かつ東日本大震災の津波浸水域をカバーするように注意して，GIS ソフトで縮尺 1/25000 の田老地区の電子地図で避難所の設置場所を選定していく。

避難所を設置した例を図-3 に示す。個人の差異は考えられるものの，概ね 4 個の避難所があれば，田老地区の津波浸水域をほぼ全域でカバーできることがわかった。この配置であれば，津波が来襲しても避難準備時間 2 分を考えても，10 分以内に住民が無理することなくいずれかの避難所に到達できることを意味している。図は東端から検討を始めたものだが，西端から始めたものでもほぼ同様の結果が得られている。平時でも商業施設や行政施設として機能できるようにしておけば，農漁村部である田老地区でも建設する価値はあると考えられる。

5. 結論

(1) 本研究の成果

本研究では，岩手県宮古市田老地区の住民の避難行動調査により得られたデータから，「ゆっくり避難」した場合と「急いで避難」した場合の傾向の違いと，それから導き出された避難所の適切な間隔距離から，田老地区における避難所設置場所の提案を行った。

その結果，疲労や援助等の速度低減まで考えた避難速度は 3.65[km/h] となった，特に高齢者においては，「急いで避難」しても短縮できる時間は少なく，場合によってはペースを考え「ゆっくり避難」の方が合理的な可能性があることを明らかにした。

それに津波到来時間を考慮することにより，住民が無理なく避難できる距離は 486.7m と求められ，それを各々の勢力圏として避難所の配置を考えると，田老地区においては 4 個程配置することが最も効率的であると分かった。

(2) 今後の課題

本研究の課題として，今後は避難所の具体的な容量や，平時の利用計画について考察し，より現実的な知見になるよう検討していくことになるだろう。また地区全体をかき上げる復興計画も立ち上がっている中で，その場合の避難所のあり方を再度考察し，本研究と比較検討をしなければならないだろう。

さらに本研究で取り扱った避難所の設置を含めて，復興計画については，科学的根拠のみならず地域住民の意見・総意があつてこそ成り立つものであり，研究はその合意形成の材料の一つであることに留意しなければならない。

参考文献

- 1) 岩手県 URL: <http://www.pref.iwate.jp/>
(2011年8月5日 12:00 閲覧)
- 2) 麻生稔彦, 松本頼一, 森下和久(2007)
「遺伝的アルゴリズムを用いた災害時避難所の最適配置に関する研究」 山口大学工学部研究報告 Vol.58 No.1 PP.31-36
- 3) 南 正昭, 中嶋雄介, 安藤 昭, 赤谷隆一(2005)
「避難経路の高低差が津波避難者に与える負荷に関する研究」 日本都市計画学会 都市計画論文集 No.40-3 PP.685-690
- 4) 高知県海洋局 URL: <http://www.pref.kochi.lg.jp/>
(2011年8月5日 12:00 閲覧)

(2009.7.1 受付)

A Fundamental Study on Examination of Place to Install Evacuation Shelter
in TSUNAMI Stricken Area
- As an Example of TAROU District

Yusuke IGARI, Hiroshi HIRAI, Masaaki MINAMI and Takuro HISHINUMA

The purpose of this study is to obtain findings for examination of place to install evacuation shelter in TSUNAMI stricken area on March 11, 2011. We focused on TAROU district in IWATE Prefecture, and obtained evacuation speeds by having local residents to evacuate practical with hurry and without hurry. Then we calculated the efficient distance of evacuation shelter and another by multiplication it and time until TSUNAMI come. We regard it as a sphere influence of evacuation shelter. In consider of above, we examined place to install evacuation shelter. Consequently, it has been understood that the senior person should slowly evacuate and that the 4 evacuation shelters are necessary in TAROU district.