

津波対策用救命具へのプレストレス（張筋）技術の活用

(株)複合研究機構	名誉会員	工博	○池田尚治
黒沢建設(株)	正会員	工修	平井 圭
横浜国立大学	正会員	博(工)	細田 暁
香川高等専門学校	正会員	博(工)	林 和彦

1. はじめに

東日本大震災以降、新たな大地震や大津波の襲来が差し迫っている。プレストレストコンクリート（張筋コンクリート）による避難タワーの建設や人工大地の提案がなされているがこれらの建設が完成する前に大津波が発生することも十分に考えておかなければならない。そのためには今すぐにでも準備ができる方策を先ず持つことが必須である。本文ではどこにでもあり、誰でも入手できるペットボトルを用いて住民各自が先ず浮力を確保して大津波を生き抜くことを考え、ここにプレストレス（張筋）技術の活用を検討するものである。ペットボトルは携帯に便利のように日常は平らに潰して常時携帯し、いざという時に息を吹き込んで元の形に復元して栓をし、これを身に着けて浮力を得るのである。具体的には 2 リットルの空のペットボトル 2 本によって水中で 40N の浮力を得ることができるので、この潰したペットボトルの形状復元を容易にするためにその中に鋼線などをらせん状に挿入しておくのである。適切な形状と強度を持つ鋼線などであれば携帯時の平らな状態から鋼線などのプレストレス（張筋）効果によって容易にペットボトルを元の形に復元することが可能なのである。ここで示す程度の浮力を持てば津波襲来時の泥流などに対して救命可能であることを小モデル実験によって検証したのでこの結果も述べる。

2. 喫緊の大津波対策

現在、東日本大震災の復興事業が大いに進められているが、近々発生するといわれている東海地震、東南海地震、南海地震あるいは首都直下地震などへの備えは同時に一層の喫緊の課題である。2012 年 8 月に公表された南海トラフ巨大地震の被災予測では高知県の黒潮町などに高さ 34m の津波が遡上するとされ途方に暮れる思いであるが、1958 年にはアラスカのリツヤ湾 (Lituya Bay) において地震による山体崩壊によって高さ 520m の津波が実際に発生したのであって大自然の天変地異は予測が極めて困難である。大津波に対して移転や防災社会基盤の整備で立ち向かうには時間が掛るのであり、その前に大津波によって多数の死傷者が再び東日本以外の広域で発生しかねないのが現状である。これを何とか避けるためには各人が自身で大津波に対処することが必須のことである。ここではその方策の一つとして今直ぐにでもできるペットボトルの活用を提案する^{1)~4)}。

海岸地帯では大地震が発生した場合、先ずは大津波の襲来に備えなければならない。先般の東日本大震災では早いところでは地震発生から 30 分ほどで大津波が押し寄せてきた。来るべき東海地震や東南海地震、南海地震ではもっと早く大津波が襲来する可能性がある。高台へ至急避難することが何よりも大事であるが、不幸にして近場に高いところがない場合も十分考えられる。東日本大震災での 2 万人に近い死者や行方不明者の大半は津波による溺死者といわれている。

そこで、津波に襲われた場合に、溺死をしないように自分を浮かせる事を考える必要がある。また、捜索時でも浮いていれば発見されやすい。咄嗟に水に浮く方法としてここで提案するのは、今直ぐにできる使用済みの空のペットボトルの活用である。2 リットル用の密閉した空のペットボトル 2 本を持てば大人 1 人を浮かせる事が出来る。シャツの中の胸のあたりに 2 本から 3 本の 2 リットル用の空のペットボトル、あるいは 500cc 用の空のペットボトルなら 8 本から 10 本程度を入れて避難すれば万一津波が来ても確実に水

面に浮くことができるので顔を上にすれば呼吸をすることが可能である。重要なことは津波に巻き込まれても浮力によって水面近くに留まることが出来るので、打撲などによる怪我も大幅に少なくなることが期待できる。ペットボトルは極めて軽量で、かつ、頑丈であるのでゴムやビニールの浮き輪に比べ、圧倒的に信頼度と耐久性が高いと言えよう。人間の比重は海水と同じか若干重いので、首から上の体積だけが水面上に突出できるようにペットボトルでその分の浮力を保持すればよいのである。勿論、性能のよい救命胴衣を着装できるならその方が良いが今現在これを常時携帯している人はほとんどいないと思われる。

過去の地震の歴史を見れば大地震は連動して発生する可能性が高く、室町時代の1498年に4万人の死者を出し、今切口で浜名湖が海とつながった明応地震の大津波の規模の津波の再来に備える必要があるのである。

3. ペットボトルの特性

ペットボトルのペットとはポリエチレンテレフタレート (Poly Ethylene Terephthalate) の略称である。この物質は熱可塑性の高分子有機化合物であってエチレングリコールとテレフタル酸との縮重合物のポリエステル系合成樹脂である。この樹脂は強靱軽量で耐熱、耐薬品性に優れ、透明であり引張強さ、ヤング率はそれぞれ60MPa、3GPa程度で伸び能力は300%程度もある。我々の良く知っている鋼材と比べると引張強さは鋼の1割程度もあり、伸び能力に至ってはその10倍以上もあることから如何に強靱性が高いかがわかる。それ故ペットボトルは潰しても折り曲げても容易に割れることなく水のような液体の貯蔵と運搬に高い信頼性を有している。従ってペットボトルは清涼飲料水や天然水の容器として世界中で広く使われており、しかも我々の持っている空のペットボトルは無事に使用された容器であることから性能が確認済みである。容器の壁厚は薄いが強靱で繰り返し折り曲げたり戻したりすることが可能である。このように優れた材質のため津波に巻き込まれて物がぶつかっても容易に割れることはなく鋭利な金属で突かない限り孔が開くことはほとんどないと考えてよい。

2リットル用のペットボトル1個の質量は栓付きで50グラム以下であり極めて軽量である。携帯に便利のように潰したペットボトルは、口から息を強く吹き入れるとほぼ元の容量の容器に戻すことができる。薄く潰すには栓を外して椅子の上に横に寝かして置き、その上から座れば体重で容易に潰れて空気が抜け、そのまま栓をすればよいのである。

4. プレストレス（張筋）技術の活用

2リットル用ペットボトルを携帯に便利のように潰して保持しているものを津波襲来時に元の形状に復元するには息を吹き込んで行うことが可能であるが2リットルの容量にまで復元するのは必ずしも容易でない。そこで予めらせん状の鋼線を容器内に入れておき、潰した時の鋼線の弾性変形に依る復元力を活用することが考えられる。鋼線の挿入された状態（潰される前の状態）での相対ストレスをゼロとすればペットボトルが平らに潰され密閉された時には鋼線には変形によってストレスが導入、保持される。そのストレスによって生じる鋼材の力はペットボトルに作用している外気圧が主な反力となっている。この状態で栓を緩めればペットボトルの中に空気が入って気圧差がなくなり、鋼線のストレスとペットボトル自身の復元性によってペットボトルの形状が復元するのである。ここではストレスが予め導入されるのは鋼線であって一般のプレストレスの概念とは異質であるがプレストレス技術の応用技術であると考えられる。ただし、プレストレスはペットボトル自身にも復元性能として或る程度導入されているのである。

線材には鋼線のほかに新素材も考えられるが弾性、靱性および延性の点でPC鋼材と同質であるピアノ線が適切だと思われる。約1m長さで1.5mm径のピアノ線をらせん状に塑性変形させてから2リットル用ペットボトルの中に回転しながら挿入すると一つの適切な鋼線配置となり得る。この場合、安全のためにピアノ線の両端には工具を用いてフック状に丸めることが絶対に必要である。同様なことを径2mmのステンレス

鋼線でも行った結果、類似の効果は得られるもののペットボトルの復元性はピアノ線の場合には及ばないことが明らかとなった。平らに潰したペットボトルを十分に復元するには息による若干の復元作業との併用が効果的である。もちろん息のみでもある程度の復元性は確保できるのでピアノ線の挿入が絶対に必要なわけではない。

5. 何故 2 リットル用ペットボトル 2 本以上が必要か？

ペットボトルの効用は簡単に家で入浴時に実証することができる。すなわち、大人の場合、肺に息を一杯に吸い込めば空の 2 リットル用ペットボトル 1 本で浮くことができる。一方、2 リットルのペットボトル 3 本で肺の空気を全部吐き出しても浮くことができる。即ち、肺の容量は約 4 リットルであり通常は約 2 リットルの空気を保持しているのであって、この状態での人間の比重は約 1.0 強なのである。

人間の頭部が水面から出るためには頭部の重量分の浮力が必要であるので頭部の質量を測ってみると大人で 4kg 以下程度、小学生で 3kg 程度である。一方、人体にはカルシウム塩などの無機物が骨部分に 3kg 程度存在し、この比重は 2.0 程度と思われるのでこの体積は 1.5 リットル程度であるからこれに対しても 1.5kg の質量に対応する浮力が必要である。したがって真水であれば大人は $4\text{kg} + 1.5\text{kg} = 5.5\text{kg}$ 程度に対応した浮力が必要なのである。ところで海水は比重が 1.03 程度であるから体重 70kg の人は約 2.1kg 分の浮力が真水に比べて生じるのでこれを差し引けば 2 リットル用ペットボトル 2 本で津波に浮くことが可能と考えられる。

また、ペットボトルによる空気を持てば必ず浮力が働くので水中に深く沈まないことが重要な事柄である。一旦水中に深く沈めば水圧によって体の肺の中の空気のほとんどが放出されるので人体の持つ基本的な浮力を失うこととなり、ペットボトルなどの浮力を別に持たなければ再び水面に浮上するのが極めて困難となるのである。この浮力の効果は防災専門家ですら十分に認識していない決定的に重要な事柄と思われる。

6. 津波襲来時の浮力の効果

プラスチック製の小容器に布を被せて着衣状態とした比重 1.0 と比重 0.9 の 2 種類の試験体を作り、砂、シルト、粘土およびこれらを混合した成分を持つ泥流を瞬時に注いで実験をしたところ僅かな比重の差で泥流に対する挙動がまったく異なる結果を得た。結果の概要を以下に示す。

- 1) 比重 1.0 と、比重 0.9 の物体では水中および泥水中での挙動が大いに異なる。
- 2) 比重 1.0+ の物体は真水で着底する。
- 3) 津波を想定した泥流を受けると粘土分が主体の泥流では比重 1.0+ の物体でも水面上に浮遊する。
- 4) 砂、シルト、粘土を含む泥流では、着衣があると水底の泥の中に埋まる。
- 5) 砂分のみでは着衣があっても砂中に埋まらず砂の表面に沈む。
- 6) 静止している水中の砂の中に比重 1.0 の物体は勿論、比重 0.9 の物体も埋め込むことができる。ただし、若干でも砂層が動けば砂中には存在できず浮上する。

以上から津波を受けて生存するためには、僅かな浮力を持つことが如何に重要かがわかる。

7. おわりに

人間は陸上の生物であるから水泳が得意でも水中では長時間生存できないことは自明である。蟻や蜘蛛などの昆虫でさえ水上ではいずれ沈んでいく。大津波が近々発生することが予想されているので、水中でも生存できるようまずは今すぐ各自が空のペットボトルで自衛をし、その後に一層優れた防災対策を講じる努力をすることが喫緊に肝要と思われる。

突然の大津波の襲来に今直ぐ浮力を備えるには各人が密封した 2 リットル用の空のペットボトル 2 本を身近に用意し、これを津波襲来時に体の胸の位置に紐か布テープで確実に固定して避難すれば津波に巻き込

まれても常に水面に浮上するので生存が可能なのである。また、この程度の浮力があれば被災後に土中に埋まったり水底に沈むことがないので捜索と救出が容易であり行方不明になることもない筈である。

2 リットル用のペットボトル 1 個の質量は栓付き 50 グラム以下であり極めて軽量である。携帯に便利にするにはペットボトル内の空気を抜いて薄く潰して変形させればよいのである。この状態で 2 本の空のペットボトルを常時鞆の中に入れて持ち歩くことが容易である。薄く潰すには栓を外して椅子の上に横に寝かせて置き、その上から座れば体重で容易に潰れて空気が抜け、そのまま栓をすればよいのである。この場合、あまり薄く潰してしまうと元の形状に復元するのが容易でないで厚さが 10mm 以下にならないようにするのが良い。

2 リットル用ペットボトルを携帯に便利のように潰して保持しているものを津波襲来時に元の形状に復元するには息を吹き込んで行うことが可能であるが 2 リットルの容量にまで復元するのは必ずしも容易でない。そこで予めらせん状のピアノ線を容器内に入れておき、潰した時のピアノ線の弾性変形に依る復元力を活用することができる。具体的には、長さ 1m で直径 1.5mm のピアノ線の両端に円形のフックを加工してこれを空のペットボトル内に挿入しておくのである。このピアノ線の質量は 15g 程度であるので軽量である。ペットボトル内に挿入する線材としては細い炭素繊維製の棒材も考えられるがこれについては今後研究する価値があると思われる。

また、最近 500cc クラスの天然水の販売に極めて薄い肉厚のペットボトルが使用され始め廃棄時に振じって小容量とすることが可能であるのでこれを浮力確保に活用あるいは併用することも得策と思われる。

ペットボトルは近代化学工業の偉大な技術的成果であることも改めて認識したい。我々は空のペットボトルを鞆に入れて常時持ち歩くだけでなく車のトランクにも数本を常に入れておくのが良いと思われる。

1498 年 9 月 20 日の明応地震(M8.4)に際して発生した大津波の規模の津波がもし現在発生すれば人的被害は当時の 4 万人とは桁違いとなる恐れがある。この地震は南海トラフ沿いの巨大地震とみられている。大津波に依る被災では膨大な資産が失われることになるがこれらはいずれ復旧が可能である。しかしながら多くの人材が同時に失われるようなこととなればその影響は計り知れないものとなり社会や国は数十年にわたって壊滅的な打撃の影響を受け続けることになる。何故なら人材の復活には数十年の教育と豊富な経験の蓄積が必要だからである。そこで社会の持続発展性の確保のために大津波に依り瞬時に多数の人命の損失が生じないようにすることが必須である。そのためには今直ぐ誰にでもできるペットボトルに依る浮力の確保が何よりも重要なことと考えられる。先ずこの実行可能な対策を実施したうえで一層確実な防災対策を実行することが肝要である。

参考文献

- 1) 池田尚治, 細田暁, 林和彦, 東日本大震災における地震, 津波および放射能による被害の分析, 教訓および緊急提案, コンクリート工学 Vol. 49, No. 12, 2011 年 12 月号, pp. 53-61, 日本コンクリート工学会
- 2) 池田尚治, 町田篤彦, 大災害に備えての平成防災 17 条憲章の策定に関する提案, プレストレストコンクリート Vol. 55, No. 1, 2013 年 1 月号, pp. 52-56, プレストレストコンクリート工学会
- 3) 池田尚治, ペットボトルで今すぐ大津波に対処開始を, 高速道路と自動車 2012 年 3 月号, 高速道路調査会
- 4) 池田尚治, 空のペットボトルで大津波から身を守ろう, RIETI LETTER 2012 年 11 月号, pp. 12-14, 経済産業調査会