

# 日本技術士会 中部本部 岐阜県支部

## 平成 27 年度 3 月講演会議事録

日時：平成 28 年 3 月 5 日（土） 13:00～17:00

場所：岐阜大学 サテライト・キャンパス（岐阜スカイウィング 37 東棟 4 階）

後援：岐阜大学工学部、岐阜工業高等専門学校

出席者：支部員 18 名、他支部員 9 名、一般 15 名 計 42 名

司会：富田

### 例会

#### 森川岐阜県支部長 挨拶と一般報告

- ・本日の講演会は初参加の技術士および一般の方が大勢参加して頂いたおかげで参加者が 42 名にも達した。
- ・今回から例会と講演会を分けた 2 部構成にする。会員向けの連絡事項等は一般の方に関係がないため例会としては会員のみ参加にして、その後の講演会から一般参加にする。
- ・本日の会員講演者の中平氏の尽力により 15 名もの一般参加の方を迎えることができた。
- ・今後も一般参加の方を増やすような内容にすべく役員会で検討中。
- ・毎回、例会・講演会開催日の午前中に役員会を開催している。主な議題は役員会議事録の確認、活動計画の立案と設定、広報活動などである。
- ・岐阜県支部の発足に伴い会員数が旧岐阜県技術士会の会員 70 名余から一気に 160 名余に増えたが、会員全員への連絡方法で苦慮している。2 月中旬までに新たに連絡先が判明した会員には今回の案内を郵送した。
- ・広報活動改善の一環としてホームページの改良を始めている。
- ・行事予定

3 月 24 日（木） 岐阜県士業連絡協議会主催 「なんでも相談フェア」 於：岐阜市役所

3 月 26 日（土） 中部本部 新合格者歓迎会と春季例会 於：名鉄ニューグランドホテル

4 月 14 日（木） 中部本部ゴルフ大会 於：東名古屋カントリー・クラブ

#### 今回、初参加の技術士の挨拶と自己紹介（敬称略）

坪井勝俣（建設）、川口敏弘（建設）、五嶋博己（建設）、松永幹生（環境・総監）、  
米田治史（航空・宇宙）

### 講演会

#### 会員講演

演題 「理論通り解決できない事故 — 機械はなぜ壊れるのか」

講師：エムシー技研有限会社 中平 真一 氏（機械部門）

講師紹介：工作機械メーカーの品証部門で機械が壊れる原因を追究しているうちに、これを生涯の仕事にしたいと思い、20 年前に退職してエムシー技研を創業。エムシーは Machine Control の MC。その後、技術士資格を取得。

講演内容：社会的に大きな影響を与えながら未解決な事故事例の真の原因を追究、自己の体験した重大クレームの解明、学術的な理論だけでは解明できない不具合を深掘して、一般の方でも理解できるように理論解説を試みる。

- 機械が壊れる要因として、①あそび ②ひずみ ③ゆるみ がキーワードになる。
- 事例 1：タレット型旋盤で刃具台の軸が繰り返し衝撃力によって疲労破壊。この時は「あそび」量が初動加速度で使用する毎に増大することを発見してスプライン軸の「あそび」を徹底的に詰めて、図面変更なしで、寸法公差の取り扱いのみで解決した。その結果、外形「ガタ」が従来の 1/4 になった。その後、「あそび」を最小にする画期的な機構が発明されて全てがそれに代わった。「あそび」を最小にして精密な位置決めと大きな減速機構が同時に実現された。それまでの刃物台の減速機の位置決め精度角が 0.1 度に対して、新しく発明された減

速機の精度は $1/60'$  ( $0.0003^\circ$ ) になった。「あそび」をなくすという執念からできた製品で、日本の3社で世界シェアを独占し、30年経っても競争力を維持している。即ち、「あそび」をなくすことにより成功したビジネスと言える。



中平 氏

これが遊星歯車機構を使った住友重機工業のサイクロ減速機、ナブテスコのRV減速機とハーモニック・ドライブ・システムズのハーモック減速機で、精密な位置決めが要求される工業用ロボットに活用されている。特にRV減速機は世界シェアが60%で、クレーム・ゼロの品質と寿命が半永久的な信頼性が要になっている。

- 事例2：油圧ポンプの多発故障。駆動モーターと油圧ポンプの僅かな芯ズレによってモーターの軸受が焼き付き（フレットィング・コロージョン）。解決策として徹底的に芯出ししてカップリングの剛性を高くする方法があるが、川崎重工は自動的に芯出しする構造を開発。
- 事例3：この事例はこれまでのような故障のクレームではなく深刻な重大事故。2007年5月に大阪の万博記念公園で起きたジェットコースター事故、1人が死亡、19人が重軽傷。コースターと車輪ユニットを締結する軸の疲労破壊したため、それはメンテナンス不良によるナット緩みが原因とされた。しかし、ナット緩みの原因は軸のテーパ嵌合部にできた僅かな間隙によって振動が発生したため、真の原因は軸か相手部品のテーパ部の仕上げ精度不良で品質管理上の問題だと思われる。メンテナンス不良なら、この1箇所だけでなく他の多くの箇所で起こってもおかしくない。
- 事例4：「ゆりかもめ」の車輪脱落事故。多数の車輪があるが1箇所だけで発生。原因はホイールとハブを締結するボルト・ナットの締め付けによる設計想定外の引張応力と材質不良となったが、真の原因はボルトのテーパ嵌合部の僅かなズレで振動が発生してナット緩みに至り、大きな繰り返し応力が負荷されて疲労破壊に至ったものと確信している。
- 事例5（自分の経験）：静岡の客先で旋盤のチャックを締結する全ボルト6本が破損してチャックが脱落。単純にボルトの締結不足と判断してボルトを交換して確実に締結したが1年後にまたボルトが破損。今度は応急措置としてボルト締結時にロックタイトで接着したところ客先からの呼び出しは途絶えた。真の原因はチャック・ノーズとスピンドルのテーパ嵌合部の $1/100$  mm程度の僅かなズレと気が付いて社内と業者のゲージを総入れ替えして完全解決した。
- 事例6：トラックのタイヤ脱輪事故。外れたタイヤがベビーカーの母子を直撃して死亡事故に。原因はホイールを取り付けるハブ・ボルトの疲労破壊とされ材質強化が必要とされたが、ナットの緩みが大きな繰り返し荷重の原因と見なすべきで、ナットのテーパ嵌合部の僅かなズレが振動につながって緩んだものと思われる。乗用車のホイールは薄手の板金構造のために弾性変形してナットのテーパ部と完全に嵌合するためトラックとは異なる。
- 以上の事例1から6について解析のポイント：
  - ・ 設計やメンテナンス不良なら多発クレームになる

- ・単発クレームなら決定的製造ミスが存在
  - ・テーパ構造の嵌合部の品質維持には加工精度が必要
  - ・疲労破壊であれば加速度と振動が発生、どの方向でも起こる
  - ・ネジの緩みが重大事故の分かれ目になる
- 事例7：複合旋盤のプログラムミスで刃具台が衝突。刃具の先端が変形するほどの大きな力が加わったにもかかわらず主軸は無傷であった。それはスウェーデンのベアリング・メーカー、SKF社の特殊ナットが使われていたためナットが緩むことなく主軸をしっかり固定できたことによる。30年前、このナットを採用して「ぶつけても壊れない機械」を社内で提案したところ、「ぶつければ壊れるのは当然」と一笑に付されたが現物実証によって全面採用になった経緯がある。
  - 日本メーカーの緩み防止ナット：(株)富士精密のUナットはナットの中にリング状の板バネを組み込んで緩み防止の摩擦力を発生。50年前に開発されたが現在も市場を拡大して増産している。最初にバイクで採用された後に全ての産業機械に浸透。ハードロック工業(株)のハードロックナットは偏心したダブルナット方式。建設市場が中心。軸を曲げる恐れがあるので産業機械には向いていない。
  - ボルト・ナット締め付けの必須知識：
    - ・定量化できない摩擦力で固定しているため緩むこともある
    - ・緩む最大に原因は振動
    - ・緩みによって静摩擦から動摩擦（摩擦抵抗1/3）に変換
    - ・締め過ぎると緩み易くなる（座面の塑性変形によって）
    - ・バネ座金はクレーム防止の胆になりうる
  - 事例8：ボーリング機の刃具台動剛性不足による激振：初めて経験した振動問題を死ぬ思いで解決した。ある量以上に刃具を突き出すと衝撃振動が起って使い物にならなかった。良い解決法が見つからない中に営業が販売してしまったため、急遽、解決する羽目になった。振動計測装置をレンタルして周波数分析しながら、応急処置の部品を刃具支持箱に組み込んで固有振動数を変えて解決。真の原因は刃具支持箱の剛性不足だったが、誰もそれに気が付かなかった。
  - 事例9：並びに置いた2台の機械が床に伝わる振動で共振：技術部門が防振ゴムで解決しようとしたが解決できなかったため、急遽、呼ばれて1両日中の解決を請われた。スイスの国際見本市で見た工作機械専用の特定周波数対応防振パッドを至急取り寄せて解決した。このことに対して社内で高い評価を得た一方、「彼は買ってきたものを単に置き換えただけで何もしなかった」という否定的な評価も得た。世の中は、成功するとねたまれることもあるため、誰も解決できない時に静かに動く処世術を身に付けた。
  - 数学で表す格言：「重ね合わせの原理」 $Q(\chi_1 + \chi_2) = Q(\chi_1) + Q(\chi_2)$ によって、どんな複雑な課題も互いに干渉しあわないことを実証できるなら、ばらばらに解析し、統合することができる。常に“Simple is best”を忘れないこと。これは、理系・文系に共通で、いつでも引き出しから出せるようになると世の中が明るく面白くなる。

## Q&A

Q：カップリングの芯ズレは解決できるのですか？

A：カップリング・メーカーから聞いた話では、最近のカップリングは芯ズレ、角度ズレに対処できる構造になっているとのこと。ズレの検証法は手回して伝達トルクを計るか、あるいは感触で軽くなればズレが小さいと判断できます。

Q：それはバランスとは関係ありますか？

A：関係ありません。

Q：ハンマーでたたいて音で機械の調子を見分ける方法などの「感」と論理の関係は？

A：「感」は重要です。ハンマーによる音の聞き分けは、実は人間の周波数分析能力に頼っていて合理的です。私自身、周波数分析を行っている中に音と周波数の関係が耳で分かるようになりました。例えばカントタン（コオロギの一種）の鳴き声が約2000ヘルツだと分かります。

A：最近の若いエンジニアに中平さんのような知恵をどのように伝えることができるのですか？

B：それは現場で物に触れて感性を育むことです。いくらコンピュータ・ソフトが発達しても設計の感性は

現場以外では学べません。

## 来賓講演

演題「これからどうする 道路橋の維持管理（岐阜県の場合）」

講師：大日コンサルタント（株）コンサルタント事業部 副事業部長 細江 育男 氏

技術士（建設部門、総合技術監理部門）、APEG エンジニア

コンクリート診断士、一級土木施工管理技士

講師紹介：1962年岐阜県白川町生まれ。1984年岐阜大学工学部土木工学科卒業とともに大日コンサルタント（株）入社。橋梁設計が主業務だが日本道路公団で施工管理も経験。現在は橋梁点検から橋梁補修設計、耐震補強設計、長寿命化修繕計画策定まで担当。岐阜大学・社会基盤メンテナンス・エキスパート（ME）養成講座において「橋梁の維持管理・床版」の担当講師。趣味はマラソン、大日コンサルタント・マラソン部に所属し、ラン歴10年で飛騨高山ウルトラマラソン71km完走。「保全是体力!!」がモットー

講演内容：建設コンサルタントが行う橋梁の維持管理業務の事例を紹介するとともに平成26年3月の定期点検に関する省令・告示によって義務付けられた5年に1回の近接目視点検の背景と問題点などを考察。



細江 氏

- 橋（岐阜県大野郡）の劣化対策：1958年の建設後50年以上経過するも生活道路と物流で依然として重要なため継続的に補修、補強工事が実施されてきた。2011年12月、路面中央部に高さ5cmもの段差亀裂が見つかった。ここは以前に鋼繊維補強コンクリート（SFRC）による上面増厚工法（じょうめんましあつこうほう）で補強された箇所であり、補強後の再劣化が起こったことになる。
- 床版の補強方法は劣化損傷の程度によって、①曲げ補強 ②せん断補強 ③打ち替え と工事規模が大きくなるが、上面増厚工法は床版自体の剛性を高める「せん断補強」の一種で道路公団の標準工法。
- 段差亀裂発生箇所周辺の床版パネル区分について、過去の補修履歴を調査するとともに劣化状況を調査し、「ひび割れ密度」の程度によって ①「劣化大」 ②「劣化中」 ③「劣化小」に3分類。更に、土砂を積載したダンプカー（20トン）を荷重に使った静的・動的載荷試験で歪、たわみ量、ひび割れ挙動（ひびの開閉、ズレ、段差）を測定。
- その結果、静的載荷試験では「劣化中」の方が劣化大よりも歪とたわみ量大きいことが判明。また動的載荷試験では、「劣化大」が荷重の通過に合った「ひび割れ」挙動を示したのに対して「劣化中」は荷重通過後もひび割れ挙動が残留。このことから「劣化中」では、外観と異なることが床版内部で起きていると結論付け。更に、たわみ量のFEM解析と実測値の比較から劣化度を定量化してシミュレーション。
- 段差亀裂に至る劣化のメカニズム：施工目地から浸入した水と繰り返し載荷によって既設床版と上面増厚の境界が剥離し既設床版の上面が土砂化。その土砂が舗装施工目地から噴出して境界に空洞ができて、



その空洞が拡大して上面増厚コンクリートが沈下すると亀裂段差ができる。

- 以上の調査に基づいて今後の維持管理方針を提案。①現時点で床版が抜け落ちるほど危険な状態ではないので、当面は再劣化を発見したら対症療法として部分的な床版補修を実施。②劣化による床版耐力の低下は確実に進行中のため継続的な監視が必要。③維持管理限界以前の適切な時期に床版の打ち替え工事を実施。
- 今、橋の路面にできている「まだら模様」は、以上の調査を行って亀裂段差をジェット・セメントで補修した跡。
- RC床版の打ち替えでは、現場打ちのRC床版、工場で作るプレキャスト床版、鋼・コンクリート合成床版、鋼床版 などがある。プレキャスト床版は現場工期が大幅短縮できるため高速道路で実績が多い。鋼床版は軽量なため桁補強の効果もある。
- 迂回路を作って床版打ち替えを行った飛騨地方の橋の例：4つの施行案について ①床版の構造的性 ②施工性 ③既設構造への影響 ④維持管理 ⑤経済性 の各項目を比較検討して総合的に最適な案を選定した。この中、2つの案は迂回路が必要な案。凍結防止剤の塩分やアルカリ骨材反応などによって床版コンクリートの複合劣化が著しく進んでいたため片側通行は危険と判断されて迂回路案になった。実際、床版コンクリートを撤去する際に吊り上げたところ、ボロボロに砕けた。
- この橋と同じように、昭和40年代後半から50年代前半にかけて使われたアルカリ量の多いセメントと反応性骨材を使ったコンクリートは、県内の他の橋にも残っており注意が必要である
- 全国設置の「道路メンテナンス会議」について：平成24年12月の笹子トンネル天井版落下事故が契機に国で様々な対策が取られてきたが、平成26年4月に「道路メンテナンス会議」が設立され、同年7月に定期点検に関する省令・告示が施行された。これにより5年に1回、近接目視による点検が義務付けられた。つまり国の行政が新規建設から維持管理へシフトし始めた。
- 近接目視で疑わしい場合は「触診」が要求される。判定区分は、従来、各県毎にあったが、全国で統一されて、I健全 II 予防保全段階 III 早期措置段階 IV 緊急措置段階 の4区分になった。当面は危険度の高い区分IIIとIVを対象を絞ることになる。実際の点検作業は非常に大変。高所作業が多い上、街中では片側交互通行や通行止めが必要で交通整理や迂回路の看板など、簡単ではない。
- 「道路メンテナンス会議」は全国の都道府県ごとに設置されて地方公共団体と関連機関が効果的に道路の劣化対策を推進する体制が構築された。当県の「岐阜県道路メンテナンス会議」は県内の道路管理者全てが参加。最近、全国の道路点検・措置状況を集約・評価した「道路メンテナンス年報」が公表されるようになった。平成26年の全国の結果は今直ぐに措置が必要な判定区分IVの橋梁は、国交省管理が2箇所、都道府県管理が6箇所、市町村管理は101箇所もある。岐阜県全体では判定区分IVが5箇所、IIIが338箇所あるが、これは県内26132箇所の橋梁の中、2850箇所だけを点検した結果で今後、点検箇所が増えれば更に増加する。
- 国は平成27年9月に「第4次社会資本整備重点計画」を閣議決定。その重点項目の一つが「集約・再編を含めた既存施設の戦略的メンテナンス」で、具体的には人口減少社会の到来を見据えて必要性のなくなった道路や橋を撤去すること。廃村寸前の数世帯のために橋を維持するのは効率的でないが、人が住んでいる以上は維持せねばならない、というジレンマ。
- 岐阜県では、県内にある橋梁の15%、3900箇所が判定区分IIIとIVと仮定すると、5年サイクルの次回点検までに補修する場合、1年間に780箇所の補修が必要。1箇所当たりの補修費用を300万円とすれば必要な費用は年間23億4000万円。県内75万世帯で負担するとすれば1世帯当たりの年間負担は3100円。橋梁の使用年数が長くなれば補修費用も増加。新しいインフラ投資の費用も考慮すると、使用頻度の少ない橋梁は迂回路があれば撤去すべきか、難しい問題だが、真剣に考えねばならない時期に差し掛かっている。
- 今年の土木学会全国大会で道路維持管理の先進県として岐阜県の取り組みを紹介した。岐阜県は既に平成13年から組織的に橋梁点検を実施。遠望目視と近接目視、5年毎と10年毎の点検頻度、評価基準など、費用と効率を考慮した独自規定で行っていたが、平成26年の省令・告示で全て近接目視に統一されたために点検費用が増える結果となった
- これまでの点検結果から、よくある劣化現象は、桁端部の腐食等であるが、稀な例としてPC横締め破断（突出）、コンクリート床版のASRと凍害による複合劣化などがある。補修に際しては耐震工事と

の一体発注を進めている。しっかりした補修工事を行わないと早期の再劣化を招く。

- 点検すれば必ず劣化が見つかり補修の必要な箇所が増えてくるが、予算確保が厳しいため補修設計や工事は遅れていき、もはや従来と同じ手法では対応困難になり、システムの再構築が必要。例えば、コスト削減のための一括発注、戦略的な補修順序の決定、一定の知識を持って評価ができる地元人材の育成、などが新しい課題として挙げられ、その取り組みが既に県内で始まっている。
- 人材育成については、現在、309名のME（社会資本メンテナンス・エキスパート）が育っており、建設業、コンサルタント、自治体職員などの公務員で各々3分の1を占めている。ME認定では、1回20~30人程度が岐阜大学で1ヶ月間、座学と現場実習を受講して認定試験を受験することになるが、この間に建設業、コンサルタント、自治体職員の人的ネットワークが形成されて、その後の実務現場での意思疎通が非常に良くなると言うメリットもある。また、飛騨、中濃、東濃など5圏域の地域別にMEの支部があって活動がし易くなっている。
- MEを活用した点検・修繕業務委託工事が、橋梁15m未満の短い橋に対して既に行われている。MEを有する会社が点検と修繕を一括受注するので時間短縮や自社技術の活用で利益確保のメリットがある。
- 個人的意見：岐阜県の山間部は過疎化が顕著で30年後には消滅する集落の発生が想定できるが、このような小さな集落（自治体）が存続するためには現実的な将来像を明確にした上で必要な「命のインフラ」を定義する必要がある。そのためには役人・業者・住民が役割と責任を明確化して協働せねばならないが、そこで急務となるのは核となる人材の育成。つまり、将来の枠組みやシステム作りを考えることができる数人の人材が先ずは必要。

## Q&A

Q：点検作業にドローンなど新技術の取り組みは？

A：1年半前にドローン活用の試行を見学したが、風が強くて飛ばせない機体が多かった。高額でも橋梁点検に特化したものの開発が必要だが、経産省主導で各メーカーが開発中なので今後は良いものが出そう。ただし、間接目視は触診ほど確かではないので、使うとしてもスクリーニングが良いと思う。

Q：国道でも県が管理することがあるのか？

A：国道には直轄国道と一般国道があり、直轄国道は国が管理、一般国道には県が管理するものがある。岐阜県の国道21号は国が管理。国道156号は一部は国が管理し、一部は県が管理。道路建設時は、国から事業費の補助があり、維持管理になると費用は自治体が独自で賄うのが一般的であったが、最近が変わってきた。また、道路は国から県、県から市町村に移管されることが多く、市町村の管理する道路が増加する傾向にある。

Q：橋の壊れる時は突然壊れるのか、それとも何らかの兆候が出るのか？

A：一般的にはいきなり壊れることはない。特に鉄筋コンクリート構造では曲げ耐力よりせん断耐力を大きくして設計するので、壊れる時には曲げ破壊でゆっくりと壊れる。以前は耐震性能確保のため、支承部を弱くしておく支承ヒューズ論という考えもあったが、今はない。

Q：道路や橋を新設する場合、費用対効果が最大になるような行政改革的な考え方はあるのか？維持管理の経費節減方法は？

A：不要となる道路が増加すると思われるので最小限のネットワークにする必要がある。新しい橋の建設を求めるなら、その明確な理由が必要。維持管理の経費節減には、日ごろの清掃など自治会でできることは自治会でやって、できないことを市町村に依頼するなど、補完性の原理が重要である。

Q：過積載など重量トラックが多い道路橋の劣化度は？

A：名阪国道などでは橋に疲労クラックが発生している。一般道路では過積載のトラックを取り締まるのは難しいのでトラック業界の協力が必要。今は疲労寿命を考慮した設計を行っているが、昔は資材費が高かったため材料ミニマムの設計を行った時代があり、今になって問題化してきている。

懇親会 17：20~19：20 於 炭火焼だいにんぐ「わたみんな」名鉄岐阜駅前店  
参加者：22名